

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS
E SANEAMENTO



THAÍS PEIXOTO SOUZA

**Análise de métodos de outorga considerando os aspectos
qualitativos e quantitativos**

Maceió

2020

THAÍS PEIXOTO SOUZA

**Análise de métodos de outorga considerando os aspectos
qualitativos e quantitativos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Cleuda Custódio Freire

Co-Orientador: Prof. Dr. Carlos Ruberto Fragoso Jr

Maceió

2020

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos - CRB-4 - 2062

- S729a Souza, Thaís Peixoto.
Análise de métodos de outorga considerando os aspectos qualitativos e quantitativos / Thaís Peixoto Souza. – 2020.
72 f. : il. : figs. ; graf. ; tabs. color.
- Orientadora: Cleuda Custódio Freire.
Coorientador: Carlos Ruberto Fragoso Jr.
Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2020.
- Bibliografia: f. 65-67.
Apêndices: f. 68-72.
1. Recursos hídricos. 2. Outorga de recursos hídricos. 3. Apropriação de água. 4. Modelagem hidrológica. I. Título.

CDU: 556.18



Folha de Aprovação

THAÍS PEIXOTO SOUZA

ANALISE DE MÉTODOS DE OUTORGA CONSIDERANDO OS ASPECTOS QUALITATIVOS E QUANTITATIVOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Em: 18 / 02 / 2020

Prof.ª Dr.ª Cleuda Custódio Freire
(Orientadora- PPGRHS)

Prof. Dr. Carlos Roberto Fraga Júnior
(Coorientador- PPGRHS/CTEC/UFAL)

Banca examinadora:

Prof. Dr. Marllus Gomes da Ferreira Passos das Neves
(Examinador interno - PPGRHS CTEC UFAL)

Prof.ª Dr.ª Joana Darc Freire De Medeiros
(Examinadora externa - UFRN)

RESUMO

Como instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos assegura o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à mesma. O usuário outorgado se apropria de determinado volume do recurso hídrico, seja captando água ou lançando efluentes, deixando este volume indisponível para outros usuários. Diante disto, surge a dificuldade de adotar uma metodologia que, utilizando dados disponíveis, retrate a capacidade de um determinado corpo hídrico receber novas descargas de efluentes. Diversos métodos têm sido aplicados por órgãos gestores a fim de garantir uma alocação ótima da água para os usuários sem comprometer a qualidade dos recursos hídricos. Este trabalho avaliou métodos distintos de análise da disponibilidade hídrica em termos de quantidade e qualidade, a fim de encontrar a metodologia mais eficaz e precisa, com resultados mais próximos da realidade. O estudo de caso foi feito na bacia hidrográfica de domínio da união Paraíba do Meio, localizada entre os estados de Pernambuco e Alagoas. Os resultados mostram que quando considerados os aspectos qualitativos (lançamento de efluentes) em relação à disponibilidade hídrica, o número de trechos comprometidos é significativamente maior. Observou-se também que a utilização de modelagem hidrológica acoplada a um SIG fornece resultados mais precisos e de melhor visualização, facilitando a tomada de decisão do órgão gestor.

Palavras-chave: Outorga de lançamento de efluentes; Apropriação da água; Modelagem Hidrológica.

ABSTRACT

As an instrument of the National Water Resources Policy, the granting of the right to use water resources ensures the quantitative and qualitative control of water uses and the effective exercise of access rights to it. The granted user appropriates a certain volume of the water resource, either capturing water or discharging effluents, leaving this volume unavailable to other users. Given this, there is a difficulty in adopting a methodology that, using available data, portrays the capacity of a given water body to receive new effluent discharges. Several methods have been applied by management bodies in order to guarantee an optimal allocation of water to users without compromising the quality of water resources. This work evaluated different methods of analyzing water availability in terms of quantity and quality, in order to find the most effective and accurate methodology, with results closer to reality. The case study was carried out in the hydrographic basin of the Paraíba do Meio union, located between the states of Pernambuco and Alagoas. The results show that when considering the qualitative aspects (effluent discharge) in relation to water availability, the number of stretches compromised is significantly higher. It was also observed that the use of hydrological modeling coupled with a GIS provides more accurate results and better visualization, facilitating the decision-making process of the managing body.

Keywords: Effluent release grant; Water appropriation; Hydrological modeling.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
2.	OBJETIVOS E METAS.....	12
2.1.	Objetivo Geral.....	12
2.2.	Objetivos Específicos.....	12
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1.	Metodologia para concessão de outorga em recursos hídricos no mundo.....	13
3.1.1.	Europa.....	13
3.1.2.	Estados Unidos.....	14
3.2.	Modelos hidrológicos.....	15
3.3.	Modelos hidrológicos e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na gestão de recursos hídricos.....	17
3.4.	Metodologia para concessão de outorga em recursos hídricos de domínio da União	19
3.4.1.	Disponibilidade hídrica e vazões de referência.....	20
3.4.2.	Vazões para diluição de efluentes.....	21
3.4.3.	Apropriação da água.....	22
3.4.4.	Controle do balanço hídrico.....	24
3.5.	Metodologia para concessão de outorga de recursos hídricos em Alagoas.....	26
3.5.1.	Estimativa de demanda hídrica e disponibilidade hídrica.....	26
3.5.2.	Estimativa do balanço hídrico.....	27
3.5.3.	Demanda hídrica acumulada e saldo hídrico remanescente.....	27
3.5.4.	Análise de outorga de lançamento de efluentes.....	28
3.6.	Comparação de metodologias.....	28
3.7.	Dificuldades na análise de pedidos de outorgas.....	30
4.	METODOLOGIA.....	31
4.1.	Área de estudo.....	32
4.1.1.	Caracterização.....	32
4.1.2.	Clima.....	33
4.1.3.	Relevo.....	33
4.1.4.	Solos.....	34
4.1.5.	Vegetação.....	34

4.1.6.	Outorgas na bacia.....	34
4.2.	Estimativa de demandas e consumos.....	38
4.3.	Obtenção de dados em campo	39
4.4.	Simulação SGAD	41
4.4.1.	Discretização da bacia.....	42
4.4.2.	Cálculo da disponibilidade hídrica	42
4.4.3.	Informações de demanda	43
4.4.4.	Informações de qualidade	44
4.4.5.	Saídas do modelo	44
4.5.	Apropriação da água.....	44
4.5.1.	Quantidade	44
4.5.2.	Qualidade	44
5.	RESULTADOS	46
5.1.	Qualidade da Água	46
5.1.1.	Coliformes	46
5.1.2.	Nitrogênio	47
5.1.3.	Fósforo	51
5.1.4.	Oxigênio Dissolvido	51
5.1.5.	Matéria Orgânica	53
5.1.6.	Classificação	54
5.2.	Método utilizado pela ANA: Apropriação da água	55
5.2.1.	Apropriação em termos de quantidade	55
5.2.2.	Apropriação em termos de qualidade	56
5.3.	Balanço hídrico SEMARH-AL	60
5.4.	Simulação SGAD	61
5.4.1.	Balanço hídrico	61
6.	CONCLUSÕES	63
	REFERÊNCIAS	65
	APÊNDICES	68
	Apêndice I – Balanço quantitativo pelo método de Kelman	68
	Apêndice II – Balanço qualitativo pelo método de Kelman.....	69
	Apêndice III – Balanço hídrico SEMARH (saldo remanescente).....	71
	Apêndice IV – Índice de comprometimento hídrico (SGAD).....	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema da conservação de massa em uma bacia hidrográfica.....	18
Figura 2 - Fluxograma dos procedimentos de cálculo dos Sistemas de Controle de Balanço Hídrico.....	25
Figura 3 - Ilustração da organização dos usuários de água.	27
Figura 4 - Ilustração da matriz de interferência para o cálculo da demanda acumulada a montante dos pontos analisados.	28
Figura 5 - Fluxograma com etapas do trabalho.	31
Figura 6 - Localização da área de estudo.	32
Figura 7 - Localização dos usuários cadastrados.....	36
Figura 8 - Pontos de coleta.	41
Figura 9 - Esquema hipotético de geração dos arquivos vetoriais de entrada que representam a bacia hidrográfica.....	42
Figura 10 - Preparação dos dados, processos e resultados do MGB-IPH.	43
Figura 11 - Gráfico de análises para coliformes.....	47
Figura 12 - Gráfico das análises de Nitrogênio Amoniacal	48
Figura 13 - Gráfico das análises de Nitrogênio Orgânico	49
Figura 16 - Gráfico das análises de Nitrito.....	50
Figura 15 - Gráfico das análises de Nitrato	50
Figura 16 - Gráfico das análises de Fósforo	51
Figura 17 - Gráfico das análises de Oxigênio Dissolvido	52
Figura 18 - Gráfico das análises de DBO	54
Figura 19 - Trechos com balanço Negativo - Método de Kelman	56
Figura 20 - Apropriação em relação a DBO.....	57
Figura 21 - Apropriação em relação aos coliformes.....	58
Figura 24 - Apropriação em relação ao Fósforo.....	58
Figura 25 - Apropriação em relação ao Nitrogênio.....	59
Figura 24 - Trechos de rio com balanço qualitativo negativo	60
Figura 25 - Trechos com balanço negativo segundo a metodologia utilizada na SEMARH-AL.....	61
Figura 26 - Simulação SGAD em gráfico	62
Figura 27 - Estresse hídrico mensal.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentrações máximas permitidas no lançamento de efluentes na Europa	13
Tabela 2 - Concentrações máximas permitidas no lançamento de efluentes em zonas sensíveis sujeitas a eutrofização na Europa.....	13
Tabela 3 - Descrição dos usuários outorgados na bacia do Rio Paraíba do Meio.....	36
Tabela 4 - Consumo per capita nos municípios.....	38
Tabela 5 - Consumo per capita no setor pecuário	39
Tabela 6 - Fator de consumo	39
Tabela 7 – Metodologias utilizadas para análise de qualidade.....	40
Tabela 8 - Valores de concentração utilizados no balanço qualitativo.....	45
Tabela 9 - Carga per capita para população humana.....	45
Tabela 10 - Carga per capita para população pecuária.....	45
Tabela 11 - Resultados para Coliformes (NMP/100mL).....	46
Tabela 12 - Resultados Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	48
Tabela 13 - Resultados Nitrogênio Orgânico	48
Tabela 14 - Resultados Nitrito.....	49
Tabela 15 - Resultados Nitrato (mg/L).....	50
Tabela 16 - Resultados Fósforo (mg/L).....	51
Tabela 17 - Resultados Oxigênio Dissolvido (mg/L).....	52
Tabela 18 - Resultados DBO (mg/L).....	53

1. INTRODUÇÃO

O uso de água superficial se dá para diversas finalidades, como abastecimento humano, irrigação, uso industrial e destinação final de efluentes. Os conflitos começam a surgir quando a demanda de tal recurso se aproxima da disponibilidade, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos, neste último caso, quando a qualidade da água fica comprometida, tornando-se indisponível para outros usuários.

Quando um usuário demanda um determinado volume de água, seja por captação ou lançamento de efluentes, ele se apropria deste volume, deixando-o indisponível para outros usuários. Então, para assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água, é necessário que o usuário solicite a outorga de direito de uso do recurso hídrico.

A outorga é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997). Para emitir tal autorização, é necessário que os órgãos gestores avaliem a situação atual da bacia hidrográfica, bem como os impactos que a inserção de novos usuários pode causar na disponibilidade da água em termos de qualidade e quantidade.

No Brasil todos os estados possuem leis com previsão para a emissão de outorgas, mas, por possuírem critérios e realidades distintas, a aplicação desse instrumento pode se tornar dificultosa em alguns casos.

A análise de outorga do direito de uso da água necessita de análises mais amplas, as quais já não envolvem apenas problemas de balanço hídrico simples ou equações matemáticas de transporte de poluentes, mas sim atividades em que os gestores utilizem as informações disponíveis, sejam estas obtidas por cadastros, dados observados ou através de simulações para estudar as melhores alternativas, visando o uso racional do recurso hídrico e o desenvolvimento econômico da bacia hidrográfica (GARCIA, 2011).

Um dos desafios é integrar quantidade e qualidade nos processos de outorga do uso da água, inserindo os lançamentos de efluentes e considerando a vazão de diluição no balanço de disponibilidade hídrica.

Visando enfrentar estas situações reais vividas pelos órgãos gestores, o desenvolvimento de um sistema de gestão que estabeleça diretrizes para o planejamento e disciplinamento dos usos é fundamental para efetivação da gestão de recursos hídricos, tanto no que diz respeito aos critérios a serem aplicados, quanto às análises de quantidade e qualidade da água ao longo dos cursos d'água.

Diante disto, metodologias que utilizam modelos hidrológicos acoplados a Sistemas de Informações Geográficas (SIG), vêm sendo utilizadas a fim de facilitando as tomadas de decisão referentes à outorga de uso dos recursos hídricos.

Nos Estados Unidos, modelos como o Programa de Simulação Hidrológica - FORTRAN (HSPF) e o Programa de Simulação de Análise da Qualidade da Água (WASP) são utilizados pelo órgão gestor no gerenciamento dos recursos hídricos do país.

Um sistema de apoio à decisão também foi desenvolvido em Queensland, na Austrália, integrando modelagem hidrológica e SIG, produzindo mapas que mostram claramente os diferentes fatores que afetam a demanda de água residencial (JAYARATHNA et al., 2017).

No Brasil, o Sistema de Apoio à Decisão do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (SAD-IPH) foi aplicado na bacia do rio dos Sinos, no Rio Grande do Sul-Brasil, onde se constatou que as demandas ultrapassam a disponibilidade de água (PESSOA; KAYSER; COLLISCHONN, 2012). Outra aplicação foi realizada, na modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Piracicaba (MG), cujos parâmetros utilizados foram a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), fósforo total, nitrogênio e coliformes termo tolerantes, sendo que os dois últimos foram subestimados pelo modelo (SILVA; FARIA; MOURA, 2017).

Os modelos hidrológicos associados a sistemas de informação geográfica consideram integradamente os processos ocorridos no corpo hídrico, permitem dados de disponibilidade hídrica como produtos, e representam com maior exatidão a situação do mesmo, e sendo de grande utilidade na análise de pedidos de outorga.

Tamanhas dificuldades e complexidades dos aspectos envolvidos na análise de outorga de lançamento de efluentes explicam a situação real enfrentada pelos órgãos gestores diante dos problemas enfrentados nas bacias hidrográficas. Esta constatação motivou a análise de diferentes metodologias para concessão de outorgas de uso dos recursos hídricos.

Tendo em vista a importância da outorga como instrumento no processo de gestão através do controle de usuários e da proteção contra a poluição dos corpos hídricos, a análise de metodologias visa auxiliar na simplificação da tomada de decisão, contribuindo para a efetivação deste instrumento.

2. OBJETIVOS E METAS

2.1.Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo avaliar metodologias para análise de outorga de lançamento de efluentes nos recursos hídricos superficiais.

2.2.Objetivos Específicos

- Avaliar as metodologias no que tange à caracterização da bacia hidrográfica qualitativa e quantitativamente;
- Avaliar as metodologias em relação à capacidade de avaliação da condição da bacia hidrográfica em relação à oferta de água em período de estiagem;
- Avaliar as metodologias em representar o efeito da inserção de novos usuários.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Metodologia para concessão de outorga em recursos hídricos no mundo

Os conflitos pelo uso da água ocorrem em todos os lugares, diante disto, as normas e regulamentações são criadas a fim de propiciar a melhor alocação e garantir a conservação dos recursos hídricos. Aqui serão apresentadas as formas como alguns países fazem o gerenciamento de seus recursos hídricos, com foco para o lançamento de efluentes em corpos d'água.

3.1.1. Europa

A União Europeia estabelece através da Diretiva 91/271/CEE as normas para o lançamento de efluentes urbanos e efluentes industriais que possuem efluentes biodegradáveis, atribuindo valores máximos de concentração ou a porcentagem de redução do parâmetro considerado, avaliados em termos de equivalente populacional. A TABELA 1 mostra os valores estabelecidos pela legislação.

Tabela 1 - Concentrações máximas permitidas no lançamento de efluentes na Europa

PARÂMETROS	CONCENTRAÇÃO	REDUÇÃO MÍNIMA (%)
DBO 5 a 20°C sem nitrificação	25 mg/l	70 - 90
DQO	125 mg/l	75
Sólidos Suspensos Totais	35 mg/l (e.p. superior a 10.000)	90 (e.p. superior a 10.000)
	60 mg/l (e.p. de 2.000 a 10.000)	70 (e.p. de 2.000 a 10.000)

Fonte: Diretiva 91/271/CEE.

Quando as descargas de estações de tratamento de águas residuais urbanas são feitas em zonas sensíveis sujeitas a eutrofização, os seguintes parâmetros devem ser observados:

Tabela 2 - Concentrações máximas permitidas no lançamento de efluentes em zonas sensíveis sujeitas a eutrofização na Europa.

PARÂMETROS	CONCENTRAÇÃO	REDUÇÃO MÍNIMA (%)
Fósforo total	2 mg/l P (e.p. de 10.000 a 100.000)	80
	1 mg/l P (e.p. superior a 100.000)	
Nitrogênio total	15 mg/l N (e.p. de 10.000 a 100.000)	70 - 80
	10 mg/l N (e.p. superior a 100.000)	

Fonte: Diretiva 91/271/CEE.

Estes valores servem como base para todo o continente europeu, mas cabe a cada país estabelecer o método de gestão dos recursos hídricos em relação ao lançamento de efluentes.

De acordo com NAHOM (2006), na Áustria, na Região de Bruxelas, na Dinamarca e na Alemanha, são os municípios que emitem licenças para pequenas descargas, e as administrações regionais (na Região de Bruxelas, o Instituto de Gerenciamento do Meio Ambiente) para os efluentes maiores, ou seja, grandes estações ou estações de tratamento de esgoto. Na França, a responsabilidade depende do tipo de atividade geradora do efluente, onde os efluentes industriais são de responsabilidade das Direções Regionais da Indústria e do Ambiente (DRIRE), enquanto os *Préfets de Département* são responsáveis pelas estações de tratamento de efluentes. Na Suécia, os conselhos administrativos do condado emitem as licenças para todos os lançamentos que exijam autorização, e no caso de atividades pequenas e não perigosas, apenas é necessária notificação dos municípios.

Na Grécia, as licenças para disposição de efluentes industriais são emitidas pelas autoridades de saúde das prefeituras e devem seguir os padrões mínimos, limites de emissão, variando de acordo com o corpo receptor. No caso de lançamentos de efluentes domésticos, as licenças são emitidas pelo Ministério de Saúde Pública e autoridades de saúde das prefeituras.

Na Grécia e na Itália, as autoridades locais emitem as licenças para os lançamentos de empresas industriais e municipais, enquanto as autoridades regionais ou centrais definem as regras e padrões de lançamento. Na Grécia, as permissões de lançamento de estações de tratamento de efluentes industriais e domésticos são emitidas pelo Ministério da Saúde Pública. Na Itália, as províncias emitem as licenças de descarga, enquanto as regiões definem o quadro regulador.

Luxemburgo, Região da Valônia, Região da Flandres e o Reino Unido têm suas licenças emitidas por uma autoridade central (O respectivo Ministério do Meio Ambiente ou a Agência Ambiental), que é a única responsável pelas licenças relativas a lançamento de efluentes industriais e de estações de tratamento municipais.

3.1.2. Estados Unidos

Os recursos hídricos nos Estados Unidos da América (EUA) são gerenciados através da Lei Federal de Controle de Poluição da Água (*Federal Water Pollution Control Act* ou "*Clean Water Act - CWA*"), que é composto por seis títulos, dentre os quais cabe

destacar os títulos III e IV por estarem diretamente relacionados à gestão da qualidade da água, ao lançamento de efluentes e à outorga para lançamento de efluentes.

Dentro da lei supracitada, foi criado o Sistema Nacional de Eliminação de Descargas ou “National Pollutant Discharge Elimination System” (NPDES), que exige a obtenção de licença de toda instalação que lance poluentes de alguma fonte pontual nas águas dos Estados Unidos, com exceção de habitações que são conectadas ao sistema municipal, que usam um sistema séptico, ou que não têm uma descarga de superfície.

A licença emitida fornece dois níveis de controle: limites de efluentes baseados na tecnologia ou “technology-based effluent limits” (baseado na capacidade de descargas em categorias semelhantes à industrial para tratar águas residuárias) e os limites de efluentes baseados na qualidade da água ou “water qualitybased effluent limits” (caso os limites de efluentes baseados na tecnologia não sejam suficientes para proteger o corpo hídrico).

Segundo a EPA (1996), quando existem dados suficientes para estimar as distribuições de frequência das concentrações do efluente, são usadas técnicas de modelagem dinâmica para fazer as Alocações de Cargas de Efluentes (Wasteload Allocations – WLAs). A Agência de Proteção Ambiental (Environmental Protection Agency – EPA) recomenda três técnicas distintas: a modelagem da simulação contínua, simulação de Monte Carlo e a probabilidade de lognormal.

A exemplo de modelos hidrológicos utilizados na tomada de decisão nos Estados Unidos, existe o Programa de Simulação Hidrológica - FORTRAN (HSPF), que consiste em um pacote abrangente para simulação da hidrologia da bacia hidrográfica e da qualidade da água para poluentes orgânicos convencionais e tóxicos, e o Programa de Simulação de Análise da Qualidade da Água (WASP), modelo que ajuda os usuários a interpretar e prever respostas da qualidade da água a fenômenos naturais e poluição provocada pelo homem para várias decisões de gerenciamento de poluição. Ambos os modelos são usados pela EPA para o gerenciamento dos recursos hídricos do país.

3.2. Modelos hidrológicos

Os modelos hidrológicos buscam transformar a precipitação que cai sobre uma bacia hidrográfica em vazão numa determinada seção de rio, representando a parte terrestre do ciclo hidrológico baseados em modelos matemáticos (TUCCI, 1998).

No âmbito da hidrologia, modelar deve ser entendido como a representação de um sistema (hidrológico), que busca representar no todo ou em partes o comportamento de

um processo hidrológico ou conjunto de processos, em um dado instante ou intervalo de tempo. Sendo assim, o modelo hidrológico é uma das ferramentas que a ciência desenvolveu para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas (MOREIRA, 2005).

Os dados utilizados neste estudo são produtos do MGB, que é um modelo distribuído desenvolvido para aplicações em grandes bacias. O MGB vem sendo desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) ao longo dos últimos 10 anos.

São utilizados dados de precipitação, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, insolação e pressão atmosférica para calcular as vazões dos rios de uma bacia hidrográfica no modelo. Para isto, a bacia hidrográfica é dividida em pequenas sub-bacias, denominadas mini-bacias, utilizando as técnicas do conjunto de ferramentas ArcHydro. Cada mini-bacia pode conter diversos tipos de uso e cobertura do solo, definidos com base no conceito de Unidades de Resposta Hidrológica (URH) (Grouped Response Unit – GRU), descrito por Kouwen et al (1993).

O balanço hídrico é realizado de maneira independente para cada URH, utilizando parâmetros diferentes para cada uma delas, conforme equação 1.

$$W^t = W^{t-1} + P - ET - D_{sup} - D_{int} - D_{bas} - D_{cap} \quad (1)$$

Onde W^t (mm) é o armazenamento na camada de solo ao final do intervalo de tempo t ; W^{t-1} (mm) é o armazenamento na camada de solo ao início do intervalo de tempo; P (mm) é a precipitação incidente (PI) menos a interceptação no intervalo de tempo; ET (mm) é a evapotranspiração da água da camada de solo no intervalo de tempo; D_{sup} (mm) é o escoamento superficial no intervalo de tempo (drenagem rápida); D_{int} (mm) é o escoamento subsuperficial no intervalo de tempo (drenagem lenta); D_{bas} (mm) é o escoamento subterrâneo no intervalo de tempo (drenagem muito lenta); D_{cap} (mm) é o fluxo do reservatório subterrâneo para a camada superficial do solo.

Foram desenvolvidas interfaces para o programa dentro dos softwares MapWindow GIS e QGIS, que são softwares de SIG de distribuição livre. A interface facilita a geração dos dados de entrada para o modelo, conta com ferramentas de análise de dados e de pós-processamento e permite uma integração do modelo com o potencial do SIG.

3.3. Modelos hidrológicos e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na gestão de recursos hídricos

O uso de SIG integrado a modelos hidrológicos tende a facilitar o planejamento e a gestão de recursos hídricos devido a maior interação entre o usuário e o modelo, permitindo que o usuário tenha maior controle sobre a entrada e manipulação dos dados, e então simular cenários que reflitam melhor a realidade (FAN, 2013; MCKINNEY; CAI, 2002).

Diversos modelos hidrológicos acoplados a SIG vêm sendo desenvolvidos para gestão de recursos hídricos (DJAMALUDDIN et al., 2013; JAYARATHNA et al., 2017; KAYSER; COLLISCHONN, 2012), criando sistemas que facilitam as tomadas de decisão relacionadas aos instrumentos da PNRH, como o enquadramento de corpos d'água e outorga de uso destes recursos hídricos.

Neste trabalho, foi utilizado o modelo SGAD (Sistema de Gerenciamento de Apoio à Decisão), que vem sendo desenvolvido no CTEC-UFAL, que consiste num conjunto de operações que visam facilitar a gestão de bacias hidrográficas em um ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

A ferramenta permite, a partir de uma base hidrográfica pré-definida, a inserção de dados sobre os usos da água (retiradas, lançamentos de efluentes e reservatórios) e disponibilidade hídrica ao longo da bacia hidrográfica, realizando uma análise quali-quantitativa da água.

O SGAD é dividido em dois módulos distintos: simulação de balanço hídrico, e simulação integrada de qualidade da água e balanço hídrico. O primeiro realiza o balanço hídrico entre disponibilidades e demandas, enquanto o segundo realiza a simulação de qualidade da água considerando os lançamentos de efluentes e as captações de água.

O SGAD inclui em suas rotinas algoritmos matemáticos de simulação dos regimes hídricos em termos quantitativos e qualitativos que observam o princípio de conservação de massa. Este modelo utilizou como entrada as vazões de referência espacialmente distribuídas geradas pelo modelo MGB-IPH, Modelo de Grandes Bacias desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

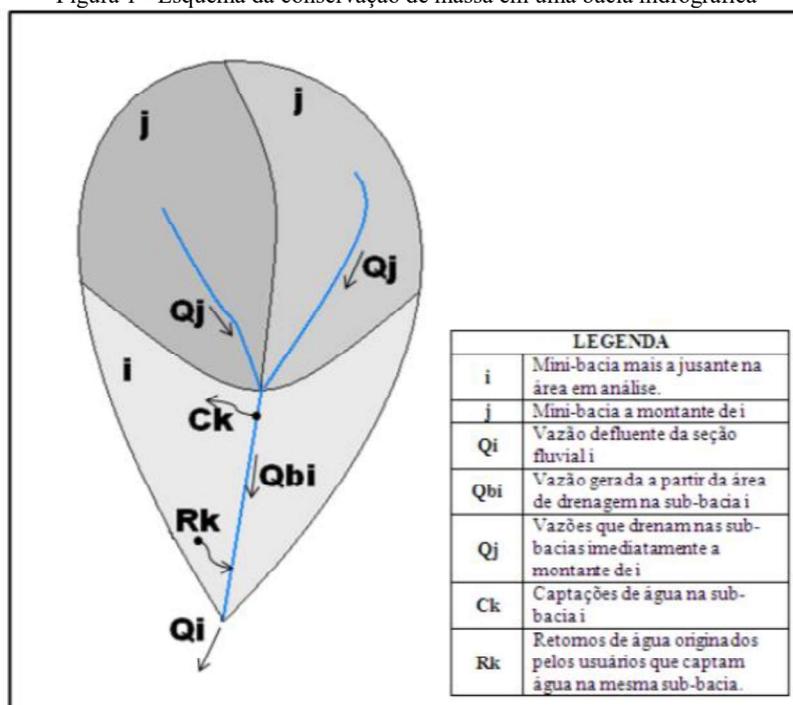
O principal avanço do SGAD é o seu módulo qualitativo construído dentro de um ambiente de processamento georreferenciado, que permite a utilização do Banco de Dados Georreferenciado e as ferramentas de geoprocessamento disponíveis, funcionando de maneira independente, contando ainda com a ferramenta MGB integrada a ele.

De acordo com NASCIMENTO (2016), o módulo de quantidade é executado tendo por base a equação de continuidade hídrica, ou de conservação de massa, que pode ser observada na equação 2. A Figura 1 ilustra como os elementos dessa equação em uma pequena bacia hidrográfica

$$Q_i = Q_{b_i} + \sum_{j=1}^l Q_j - \sum_{k=1}^k C_k + \sum_{k=1}^k R_k \quad (2)$$

Onde Q_i é a vazão efluente da seção fluvial i , que concentra as vazões das bacias hidrográficas à montante, Q_{b_i} é a vazão gerada na mini bacia que drena para a seção fluvial i , $Q_j, j=1, \dots, J$ são as vazões que drenam para as seções fluviais imediatamente a montante da seção fluvial i , e $C_k, k=1, \dots, K$ são as captações de água na mini bacia que drena para a seção fluvial i , e $R_k, k=1, \dots, K$ são os retornos de água originados pelos usuários que captam água na mesma mini bacia.

Figura 1 - Esquema da conservação de massa em uma bacia hidrográfica



Fonte: NASCIMENTO (2016).

No módulo de qualidade, para cada mini bacia serão estimados os efluentes de esgoto das fontes e as respectivas concentrações para cada poluente considerado, que serão utilizados como dados de entrada no modelo.

O módulo de qualidade da água estabelece que a variação da concentração do poluente remanescente (P) em um infinitésimo de tempo (dt) é igual a concentração do poluente multiplicada por uma constante de decaimento (K), podendo ser escrita como:

$$\frac{dP}{dt} = -k * P \quad (3)$$

A equação diferencial tem solução analítica, considerando a variação da concentração do espaço e regime permanente, dada por:

$$P_{i+1} = P_i * \exp\left(\frac{-K*L_i}{U_i}\right) \quad (4)$$

Onde P_i e P_{i+1} são as concentrações do poluente nas seções fluviais i (montante) e $i+1$ (jusante), respectivamente; L_i é o comprimento em metros do trecho de rio entre as seções fluviais i e $i+1$ e U_i é a velocidade média, em $m.s^{-1}$, no trecho entre as seções i e $i+1$. A velocidade média é estimada pela seguinte relação:

$$U_{i+1} = \frac{Q_i}{A_i} \quad (5)$$

Onde Q_i é a vazão em $m^3.s^{-1}$ e A_i é a área da seção transversal em m^2 . A área da seção transversal em cada trecho é estimada através de uma relação potencial com a área de drenagem. Esta relação pode ser construída a partir dos dados de área da seção transversal encontrados nas estações fluviométricas disponíveis (NASCIMENTO, 2016).

3.4. Metodologia para concessão de outorga em recursos hídricos de domínio da União

A outorga de direito de uso de recursos hídricos é um dos seis instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecidos no inciso III, do art. 5º da Lei das Águas (lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997). Esse instrumento tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos.

Além dos objetivos definidos em lei, a outorga deve ainda buscar como objetivos o atendimento das necessidades ambientais, econômicas e sociais, a minimização de conflitos relacionados ao uso da água, e a possibilidade de atendimento a demandas futuras, sendo assim entendida como um instrumento de gestão para alocação de água em uma bacia hidrográfica (MELO, 2006).

Segundo a Lei das Águas, estão sujeitos à outorga a captação de água superficial ou subterrânea para consumo ou insumo de processo produtivo, lançamento de resíduos líquidos em corpos d'água, tratados ou não, aproveitamento dos potenciais hidrelétricos e outros usos que alterem o regime. Existem ainda casos que independem de outorga, tais quais uso de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural, as derivações, captações e lançamentos

considerados insignificantes e as acumulações de volumes de água consideradas insignificantes (CIVIL; MENDES; BELCHIOR, 2018).

Ainda de acordo com a Lei das Águas, a Agência Nacional de Águas (ANA) é a instituição responsável pela análise técnica para a emissão da outorga de direito de uso da água em corpos hídricos de domínio da União, que, de acordo com a Constituição Federal, são aqueles lagos, rios e quaisquer corpos d'água que passam por mais de um estado, ou que sirvam de limite com outros países ou unidades da Federação.

De acordo com os normativos vigentes, na análise de outorga devem ser observadas as prioridades de uso estabelecidas nos planos de recursos hídricos, a classe em que o corpo de água estiver enquadrado, a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário e demais restrições impostas pela legislação, além da utilização racional do recurso e a garantia dos usos múltiplos.

Considerando ainda os critérios gerais de outorga estabelecidos na Resolução CNRH nº 16, de 08 de maio de 2001, a outorga confere o direito de uso de recursos hídricos condicionado à disponibilidade hídrica, e ao regime de racionamento, sujeitando o outorgado à suspensão da outorga.

Na análise de outorga para fins de lançamento de efluentes, o órgão avalia apenas os parâmetros relativos à temperatura, à demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e, em locais sujeitos a eutrofização, ao fósforo e ao nitrogênio, conforme estabelecido na Resolução ANA nº 219, de 06 de junho de 2005.

3.4.1. Disponibilidade hídrica e vazões de referência

As alocações dos recursos hídricos devem ser feitas de forma que haja uma garantia de fluxo residual nos cursos d'água, por isto é necessário o conhecimento das vazões mínimas para aplicação do instrumento de outorga.

Para o gerenciamento dos recursos hídricos é importante o conhecimento das vazões mínimas dos rios principais e seus afluentes, para aplicação do instrumento de outorga, pois a repartição dos recursos hídricos disponíveis (outorgáveis) entre os diversos requerentes deve ser feita com uma garantia de manutenção de fluxo residual nos cursos de água.

Como vazão de referência, a ANA adota a Q_{95} , vazão que é superada em 95% do tempo, visto que o risco de 5% é um valor médio entre os riscos toleráveis para diversos usos (ANA, 2014).

A disponibilidade hídrica é estabelecida a partir de estatísticas do passado observadas em estações de monitoramento, que em geral não estão no local da demanda ou mesmo nas proximidades, dificultando o acesso às informações necessárias para a gestão de recursos hídricos. Diante disto, há a necessidade de determinar vazões características onde se originam as demandas.

Na ausência de séries históricas significativas, a ANA utiliza as seguintes técnicas para obtenção das vazões de referências:

- Regionalização de vazões: trata-se de uma técnica que permite explorar as informações existentes e gerar vazões de referência em locais sem dados, com base em variáveis explicativas tais como área de drenagem e precipitação média.
- Vazão específica: trata-se de um caso particular de regionalização, em que se considera que toda a bacia contribui de forma homogênea, ou seja, cada quilômetro quadrado em média gera a mesma vazão de referência.
- Simulação chuva-vazão: em casos específicos, pode ser usada esta ferramenta, que se baseia no fato de que séries de precipitação em geral têm maior disponibilidade espacial e temporal do que séries de vazão.
- Um modelo chuva-vazão em particular, desenvolvido por Silveira et al. (1998), tem sido muito aplicado em pequenas bacias de cabeceira nas proximidades do Distrito Federal. Este modelo requer a realização de pelo menos três medições de vazão no manancial de interesse, durante um mesmo período sem ocorrência de chuvas, para caracterização da recessão (estiagem) do rio.

3.4.2. Vazões para diluição de efluentes

Tanto as captações de água quanto os lançamentos de efluentes são passíveis de outorga, pois conforme a Lei 9.433/1997, a outorga visa assegurar o controle qualitativo dos usos da água.

Para comparar demandas quantitativas e qualitativas, a ANA adota o conceito proposto por Kelman (1997), calculando a vazão necessária para diluir um poluente até sua concentração permitida.

Por conta do fenômeno de autodepuração, as vazões indisponíveis por conta dos efluentes lançados tornam-se menores ao longo do curso d'água, ficando novamente disponíveis para novos usuários.

A autodepuração da vazão indisponível (ou carga poluente) é estimada como sendo uma função do tempo de trânsito da água ao longo do trecho de rio, conforme a equação 6:

$$L_n = L_0 \cdot e^{-k_1 \cdot t} \quad (6)$$

A variável t corresponde ao tempo de trânsito da água entre os trechos 0 e n , em dias. Este tempo é calculado considerando-se a distância entre os trechos e uma velocidade do fluxo de 0,5 m/s. L_n é a carga no trecho de interesse e L_0 é a carga poluente no trecho 0 a montante. Já K_1 é um coeficiente de decaimento que é função da temperatura da água, dado por:

$$k_1(Temp) = 0,17 \cdot 1,047^{(Temp-20)} \quad (7)$$

3.4.3. Apropriação da água

Quando outorgado, o usuário passa a se apropriar do volume de água ao qual lhe foi autorizado o uso, deixando esse volume indisponível para outros usuários. Este conceito é válido não só para captações, em termos de quantidade, como também para os lançamentos de efluentes, afinal, certo volume da água onde é feito o lançamento fica indisponível para outros usuários em termos de qualidade.

Para Kelman (1997), o conceito de “volume outorgável” admite diferentes formulações, visto que a vazão fluvial é uma variável aleatória, e não uma constante, tornando-se um grande complicador no processo de emissão de outorgas. De acordo com o mesmo autor, o volume outorgável em determinado trecho depende não só dos usuários deste trecho, como também dos usuários de trechos a montante, seja em termos quantitativos ou qualitativos.

Assim sendo, as equações desenvolvidas por Kelman (1997) consideram $Q(t)$ o volume outorgável, ou seja, aquele que realmente está disponível, num intervalo de tempo Δt (antes de transcorrido o intervalo de tempo Δt , não se sabe qual será o valor de $Q(t)$).

Se o órgão gestor tem que alocar o desconhecido $Q(t)$ entre os usuários, deve assumir para isso uma postura conservativa, adotando um volume outorgável com garantia (95% por exemplo), chamado de $q^*(t)$, que pode ser visto ainda como limite superior para o somatório de todos os usos.

Assumindo $q(0,t)$ como a quantidade de água necessária para satisfação das necessidades previstas no art. 1º. da 9433/97 (pequenos núcleos populacionais, derivações insignificantes) e das necessidades associadas à preservação ambiental, $q(i,t)$ a outorga do i -ésimo usuário para o intervalo Δt , e sendo $a(i)$ o coeficiente de utilização, variando de 0 a 1, onde um usuário que tenha uso consuntivo nulo, tal qual uma hidroelétrica a fio d'água, terá $a(i)$ nulo. Já um irrigante, com grande consumo (principalmente devido à evapotranspiração) terá $a(i)$ próximo da unidade.

Para n usuários tem-se:

$$\sum_{i=0}^n a(i)q(i, t) \leq q^*(t), \quad \forall t \quad (8)$$

Observa-se que, caso $Q(t) < q^*(t)$, haverá necessidade de adoção de uma política de racionamento.

Ao dividir um curso d'água em trechos (k), para cada trecho de rio k será possível obter a curva de permanência correspondente e o conseqüente volume outorgável, denominado de $q_k^*(t)$. Como dito anteriormente, este volume outorgável será disputado por usuários localizados no trecho k e usuários nos trechos a montante.

Seja $M(k)$ o conjunto dos usuários (inclusive os usuários do próprio trecho k).

Tem-se então:

$$\sum_{i \in M(k)} a_k(i)q(i, t) \leq q_k^*(t), \quad \forall k, \forall t \quad (9)$$

Agora, considerando-se a apropriação da água não apenas em termos quantitativos, mas também qualitativos devido ao lançamento de efluentes no corpo d'água, seja $q(i,t)$ a quantidade de água que o usuário “se apropria” para diluir certa quantidade de efluente; $h(i,t)$ a quantidade de efluente lançado pelo usuário i , ao longo de Δt , com concentração de poluente do tipo p ($p=1$ – DBO; $p=2$ – coliformes fecais; $p=3$ – nitrogênio, etc.) igual a $c_p(i,t)$; c_p^* a concentração permissível (enquadramento); c_{ep} a concentração do poluente em condições naturais (independente da ação de usuários), então a quantidade de água “apropriada” por cada usuário para diluir o efluente lançado por ele é:

$$q_p(i,t) = h(i,t) \{ [c_p(i,t) - c_p^*] / [c_p^* - c_{ep}] \} \quad (10)$$

Onde o quociente $\{[cp(i,t) - cp^*] / [cp^* - cep]\}$ é chamado de “multiplicador de vazão”. Mede quantos m^3/s são necessários no rio para diluir a carga poluente do tipo p acrescentada em cada $1 m^3/s$ de vazão efluente.

Seja $r_{p,k}(i,t)$ a quantidade de água "apropriada" pelo usuário i , referente ao trecho k (não necessariamente utilizado no trecho k), ao longo do intervalo Δt , que fica indisponível para uso de outros usuários que pretendam diluir o poluente p .

Suponha que o usuário i torne indisponível para os demais usuários, no trecho k , a vazão $r_{1,k}(i,t)$ m^3/s para diluição de DBO, $r_{2,k}(i,t)$ m^3/s para diluição de coliformes, $r_{3,k}(i,t)$ m^3/s para diluição de nitrogênio, e que, além de lançar estes poluentes no corpo hídrico, retire sem restituição (isto é, $a(i)=1$) a vazão de $q(i,t)$ m^3/s . Neste caso, ele torna indisponível para os demais usuários, em todas as contabilidades específicas, estes $q(i,t)$ m^3/s . Portanto $r_{1,k}(i,t) \geq q(i,t)$, $r_{2,k}(i,t) \geq q(i,t)$, $r_{3,k}(i,t) \geq q(i,t)$. Isto é, $q(i,t)$ ficam indisponíveis para todos os usos um usuário quantitativo é também usuário qualitativo em todas as categorias de poluentes. Portanto:

$$r_{p,k}(i,t) = a_k(i)q(i,t) + a_{p,k}q_p(i,t), \quad \text{para } k \in J(i), \forall p > 0 \quad (11)$$

Como em cada trecho k o volume outorgável para diluição de cada tipo de poluente é $q^*(t)$ menos todos os usos consuntivos dos usuários que pertençam a $M(k)$, a Equação 2 pode ser adaptada, para uso quantitativo e qualitativo:

$$\sum_{i \in M(k)} r_{p,k}(i,t) \leq q_k^*(t), \quad \forall p, \forall k, \forall t \quad (12)$$

3.4.4. Controle do balanço hídrico

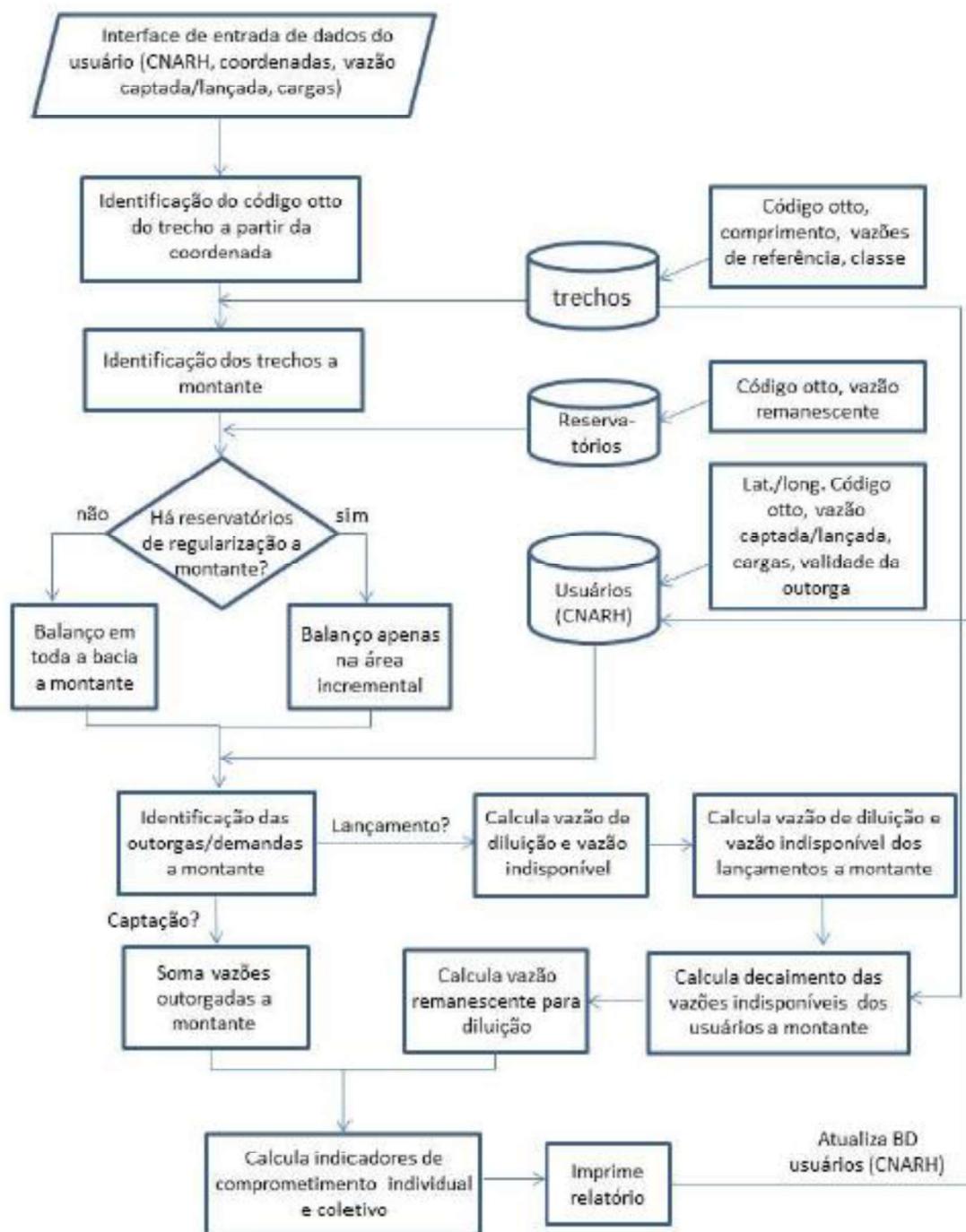
Para o controle de balanço hídrico, a ANA vem utilizando sistemas computacionais, que permitem automação da análise de disponibilidade hídrica de pedidos de outorga, cálculo de indicadores de comprometimento hídrico e verificação da situação da bacia.

O sistema utilizado atualmente foi desenvolvido por Collischonn e Lopes (2008), o Sistema de Controle de Balanço Hídrico (SCBH) calcula os indicadores de comprometimento e atualiza o balanço a cada entrada de novo usuário, seja para captação de água ou lançamento de efluentes (ver Figura 2). O SCBH está disponível para as seguintes bacias: São Francisco, Paraná, Tocantins-Araguaia, Paraíba do Sul, Doce, Jequitinhonha, Costeiras BA/ES, Piranhas-Açu, Uruguai/Lagoa Mirim, São Marcos e

Açudes do Nordeste. Desta forma, mais de 90% dos pedidos de outorga deliberados pela ANA têm sua disponibilidade hídrica analisada por meio desse sistema (ANA, 2014).

Um novo sistema está em fase final de desenvolvimento, o Sistema de Apoio à Outorga (SDO), que realiza o balanço hídrico em ambiente corporativo, no qual as demandas são lidas diretamente do CNARH e a topologia hídrica é lida da base otocodificada mantida pela SGI/ANA. Pretende-se migrar progressivamente as análises atualmente realizadas do SCBH para o SDO (ANA, 2014).

Figura 2 - Fluxograma dos procedimentos de cálculo dos Sistemas de Controle de Balanço Hídrico.



3.5. Metodologia para concessão de outorga de recursos hídricos em Alagoas

Em casos de corpos d'água de domínio estadual, as análises e concessão de outorga são de responsabilidade do órgão estadual de gestão de recursos hídricos, no caso de Alagoas, a Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Alagoas (SEMARH-AL).

Dentre as ações necessárias para a gestão sistemática dos recursos hídricos e consequentemente a concessão de outorga, o balanço entre a oferta e a demanda hídrica permite a definição de áreas críticas do ponto de vista de pressão sobre os recursos hídricos, sendo assim de fundamental importância para orientar as ações de planejamento e gestão previstas na política de recursos hídricos.

Dentre as maiores dificuldades nas análises de outorgas no estado de Alagoas, está a existência de barragens, o grande número de usuários irregulares, que não possuem cadastro no órgão gestor, e a dificuldade de estimar a Q_{90} .

3.5.1. Estimativa de demanda hídrica e disponibilidade hídrica

A estimativa da demanda hídrica em Alagoas é realizada com base no cadastro de usuários de recursos hídricos elaborado pela SEMARH-AL, onde estão disponíveis as informações referentes aos usuários de água, sejam outorgados ou isentos (BARROS et al., 2017).

Já a estimativa de disponibilidade hídrica na seção de interesse é feita considerando dados de vazão diária de uma estação fluviométrica existente, e aplicando o método da vazão específica, ou seja, proporcionalidade da vazão pela área em uma região homogênea. A relação de proporcionalidade entre a vazão em uma determinada seção (Q) e a área de drenagem dessa seção (A), se dá conforme descrito na Equação 13.

$$Q_x = \left(\frac{A_x}{A_a} \cdot Q_a \right) = q_a \cdot A_x \quad (13)$$

Onde: Q_x é a vazão na seção de interesse (m^3/s); Q_a é a vazão na seção de monitoramento (m^3/s); A_x é a área de drenagem para seção de interesse (km^2); A_a é a área de drenagem para a seção de monitoramento (km^2); e q_a é a vazão específica para o rio na seção de monitoramento ($m^3/s/km^2$).

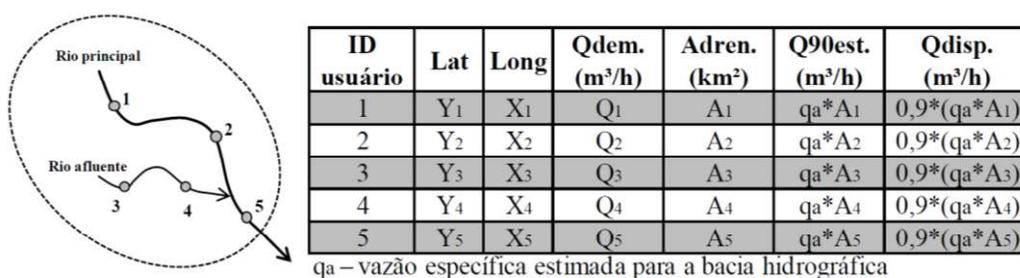
A disponibilidade hídrica estimada é avaliada em termos de Q_{90} , vazão com frequência de 90% na curva de permanência a nível diário, visto que essa é a vazão

outorgável definida pelo Decreto Estadual nº 6/2001, que regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos.

3.5.2. Estimativa do balanço hídrico

De acordo com Barros et al. (2017) para realizar o balanço hídrico, os usuários da bacia hidrográfica são organizados em mapa básico, de montante para jusante, partindo da nascente até a foz do rio principal, onde é apresentada a hidrografia da bacia e a localização das demandas. As informações das demandas são dispostas em planilha tal qual apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Ilustração da organização dos usuários de água.



As colunas referentes à área de drenagem e à vazão de referência, estimada em cada ponto demandado, foram adicionadas tendo em vista que a área de drenagem é fator determinante para a estimativa, bem como a última coluna, adicionada pelo fato de que, em Alagoas, a vazão máxima outorgável corresponde a 9/10 da vazão de referência.

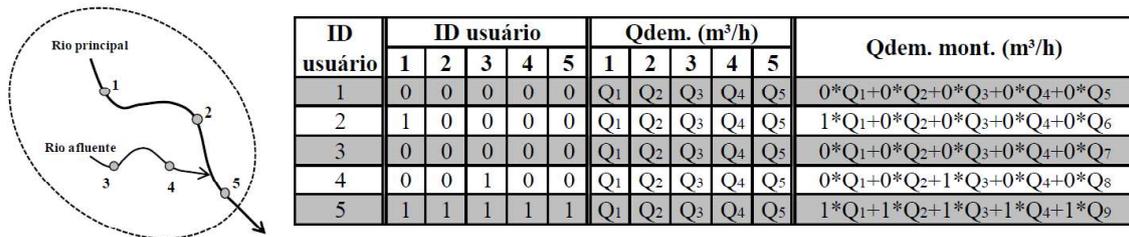
3.5.3. Demanda hídrica acumulada e saldo hídrico remanescente

Para estimar a demanda hídrica acumulada até uma seção de interesse, é utilizada uma matriz binária, adicionada à planilha exemplificada na Figura 3, para representar a interferência que os usuários à montante causam da disponibilidade hídrica de tal seção.

Na matriz, são dadas sentenças positivas (1) às células que correspondem à interseção entre dois usuários que sofrem interposição, e sentenças negativas (0) caso não haja interferência entre os usuários.

Dessa forma, estima-se a demanda acumulada a partir do somatório do produto da matriz de interferência com a matriz de demanda, como demonstrado na Figura 4.

Figura 4 - Ilustração da matriz de interferência para o cálculo da demanda acumulada a montante dos pontos analisados.



Calculadas as demandas pontuais e acumuladas, bem como as estimativas de disponibilidade pontuais, a estimativa de saldo hídrico remanescente é realizada pela Equação 14.

$$Q_{saldo} = Q_{disp} - Q_{dem.} - Q_{mont.} \quad (14)$$

3.5.4. Análise de outorga de lançamento de efluentes

A vazão disponível para determinada seção de rio é determinada conforme os itens anteriores. Em caso de lançamento de efluente, esta vazão (definida na equação 14) é utilizada como a vazão do rio na equação de mistura:

$$C_m = \frac{Q_r \times C_r + Q_e \times C_e}{Q_r + Q_e} \quad (15)$$

Onde:

C_m = concentração do poluente logo após a mistura;

C_r = Concentração do poluente no rio a montante do lançamento;

C_e = Concentração do poluente no efluente;

Q_r = Vazão do rio a montante do lançamento;

Q_e = Vazão do efluente.

Com base em pareceres técnicos disponibilizados pela SEMARH-AL, percebe-se que atualmente é feita a comparação da concentração do poluente após a mistura com os valores máximos permitidos estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, e então é feita a análise baseada no atendimento (ou não) da referida Resolução.

3.6. Comparação de metodologias

Todos os métodos avaliados nesse estudo têm como entrada dados como vazão de referência, coeficiente de retorno e cargas, quando considerados os aspectos qualitativos. O que difere entre eles é a forma como a análise é feita.

O método de Kelman calcula a quantidade de água apropriada pelo usuário através da vazão demandada e coeficiente de utilização, cujo somatório deve ser menor que o limite máximo outorgável. Quando considerada a quantidade de água apropriada pelo usuário para diluir um determinado efluente, utiliza-se um multiplicador de vazão que mede quantos m^3/s são necessários de água do rio para diluir a carga poluente acrescentada em cada $1 \text{ m}^3/\text{s}$ de vazão efluente.

O SGAD, no entanto, utiliza alguns dados específicos da bacia, como área de drenagem, área a montante do trecho, comprimento de drenagem, mini bacia de jusante e ordem do rio, além de largura e profundidade, e equações empíricas de decaimento e autodepuração no caso do módulo qualitativo. Os resultados são expressos em gráficos e mapas de estresse hídrico, mostrando não só onde há situações críticas, mas também os trechos em que o percentual de comprometimento hídrico está moderado, possibilitando ao órgão gestor avaliar se a inserção de um novo usuário em um determinado ponto irá ou não comprometer a vazão disponível naquele trecho e em trechos a jusante.

O método da SEMARH-AL utiliza a área de drenagem e a vazão demandada, criando uma matriz de interação entre todos os usuários da bacia. Esta metodologia foi a que apresentou resultado com menos trechos comprometidos na bacia em termos quantitativos. Vale ressaltar que, no estado de Alagoas, esta metodologia é aplicada apenas nos afluentes de domínio estadual, e que no presente estudo a mesma foi aplicada em toda a bacia, considerando também trechos do rio principal, o que pode ter influenciado o resultado final.

Em relação ao lançamento de efluentes, o método utilizado na SEMARH-AL faz uma avaliação pontual, verificando a qualidade apenas no ponto de mistura. Caso o resultado ultrapasse o valor máximo permitido para um rio Classe 2, é feita a análise espacial através do estudo de autodepuração.

O método de Kelman (1997), no entanto, faz uma análise espacial, considerando os efeitos dos lançamentos na bacia como um todo para então avaliar a quantidade de água ainda disponível para diluir cada tipo de poluente.

Já o modelo SGAD une análise temporal, espacial e pontual, além de permitir a visualização gráfica e espacial da situação em cada trecho de rio, o que pode tornar menos exaustiva a tomada de decisão acerca de novos usuários.

3.7.Dificuldades na análise de pedidos de outorgas

Dentre as dificuldades para avaliar pedidos de outorgas, pode-se citar a escolha da vazão de restrição, a existência de barramentos e o cadastro de usuários.

A vazão de referência, utilizada como um parâmetro técnico de garantia, é determinada através da vazão natural com alta permanência no tempo, por exemplo a Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$. Sobre a vazão de referência, a legislação determina um percentual, a vazão de restrição, que define um limite máximo de uso para o corpo hídrico para que haja o atendimento satisfatório aos múltiplos usos.

Para rios de domínios federais, a ANA estabelece a vazão de restrição de 95% da Q_{95} . Vários Estados da Federação também fixaram normas relativas à vazão de restrição para os rios de domínios estaduais.

No estado da Bahia, o Decreto nº 6.296, de 21 de março 1995 estabelece o limite de 80% da Q_{90} , sendo que no caso de abastecimento humano, esse limite pode chegar a 95% da Q_{90} . No Ceará, no Rio Grande do Norte e em Alagoas, os Decretos estaduais nº 23.067, de 11 de fevereiro de 1994, nº 13.283, de 22 de março de 1997 e nº 6 de 23 de janeiro de 2001, respectivamente, dizem que a soma dos volumes d'água outorgados numa determinada bacia, não poderá exceder 9/10 (nove décimos) da vazão regularizada anual com 90% (noventa por cento) de garantia. No Maranhão a vazão máxima outorgável para usos consuntivos em mananciais superficiais é de 80% da vazão de referência (Q_{90}), para uma seção de um corpo hídrico, de acordo com a Resolução CONERH Nº 57 DE 21 de maio de 2019, o mesmo vale para Pernambuco.

As porcentagens estabelecidas pelas normas estaduais em relação às vazões de restrição visam proteger o corpo hídrico, adotando um padrão conservador, já que o critério adotado é definir um valor mínimo constante. Mas o que pode ser observado é que a tomada de decisão para esse parâmetro é feita de forma genérica, sem estudos específicos ou justificativas para o estabelecimento das vazões de referência e dos critérios para os padrões adotados. Tal limitação para a vazão outorgável pode gerar conflitos dentre os múltiplos usuários, além de dificultar a gestão dos recursos hídricos.

Em relação à existência de barramentos, estes dificultam o processo de análise de outorgas pois, em termos de balanço hídrico, é como se a barragem criasse um novo manancial a jusante, interrompendo a propagação de demandas, e iniciando um novo

balanço a partir daquele ponto, o que contraria a teoria de Kelman (1997) de que a bacia deve sempre ser considerada como um todo para o cálculo da disponibilidade hídrica.

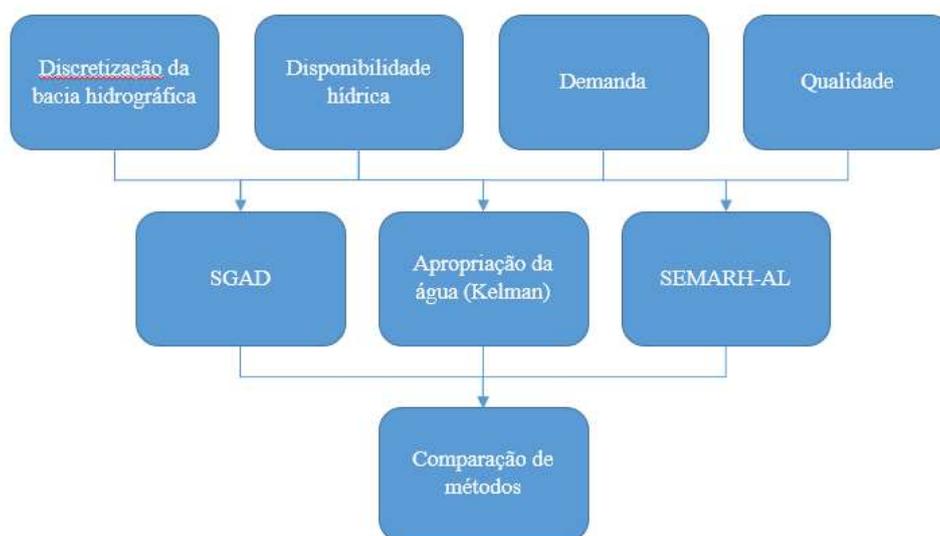
O cadastro de usuários, por sua vez, registra os usuários que fazem uso dos recursos hídricos, seja por captação de água, lançamento de efluentes ou qualquer outro tipo de interferência direta. O cadastro de usuários é fundamental para a gestão dos recursos hídricos, uma vez que a partir dele é possível verificar as demandas pelo uso da água. Entretanto, existem os usuários não cadastrados, além daqueles que tem seu uso considerado insignificante, e por isso não solicitam outorga e não se cadastram entre os usuários. A falta de informação desses usuários acaba por subestimar as demandas existentes e dessa forma não contribui para a gestão adequada.

4. METODOLOGIA

O presente estudo realiza a avaliação e comparação de diferentes métodos de análise de outorga para lançamento de efluentes: o método proposto por Kelman (1997), o método utilizado atualmente na SEMARH-AL, e utilização do modelo SGAD.

As etapas para desenvolvimento do trabalho são descritas na Figura 5:

Figura 5 - Fluxograma com etapas do trabalho.



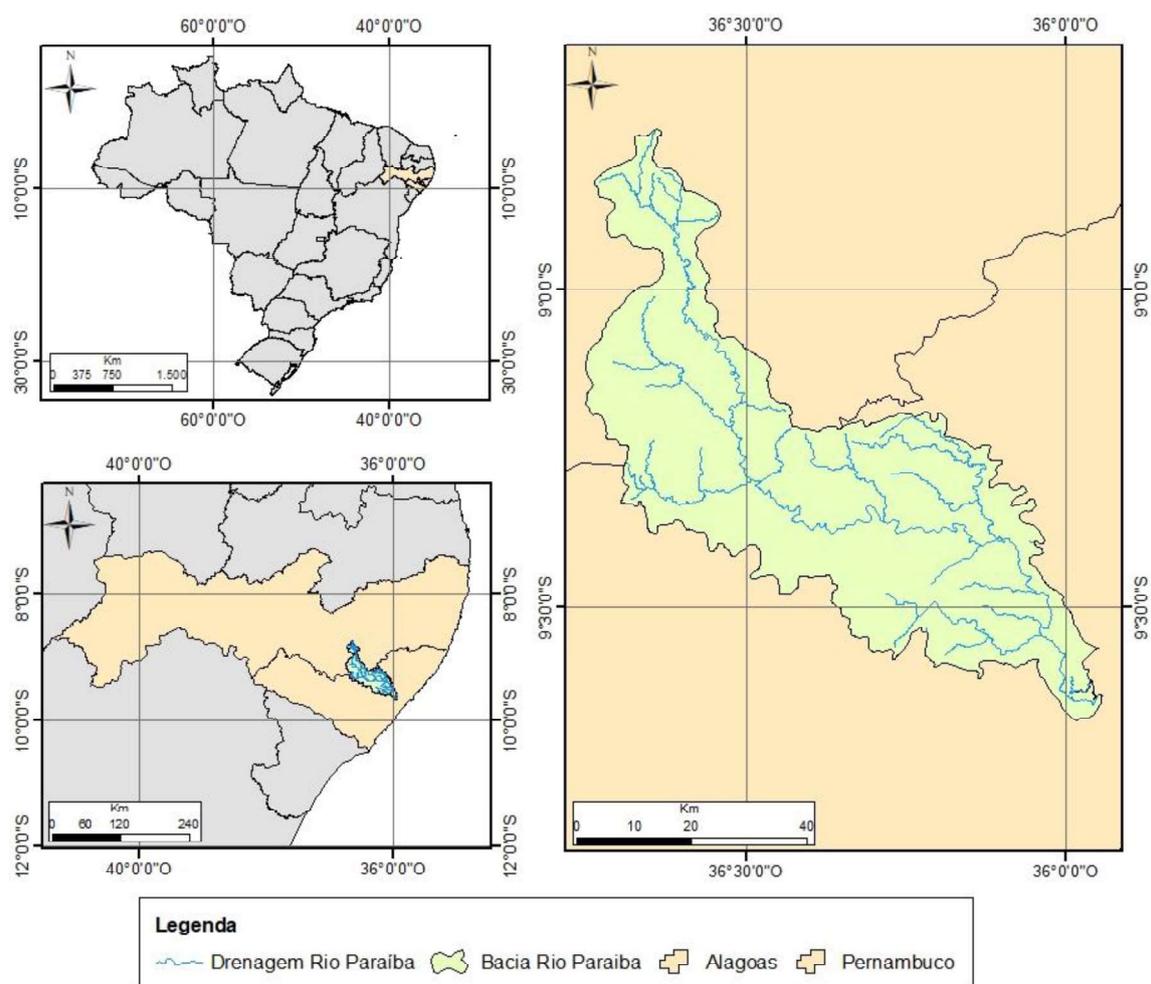
4.1. Área de estudo

4.1.1. Caracterização

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio está localizada nos estados de Pernambuco e Alagoas, entre 8°45” e 9°30” de latitude sul, e 35°55” e 36°50” de longitude oeste (Figura 6).

Sua área de drenagem é de aproximadamente 3.147 km², sendo 1.989 km² (63%) no estado de Alagoas e 1.158 km² (37%) no estado de Pernambuco. A bacia engloba dentro de seu perímetro oito municípios Pernambucanos (Bom Conselho, Brejão, Terezinha, Paratama, Caetés, Garanhuns, Saloá e Lagoa do Ouro) e oito alagoanos (Quebrangulo, Paulo Jacinto, Viçosa, Palmeira dos índios, Cajueiro, Capela, Atalaia e Pilar), percorrendo 192,53 km desde sua nascente até sua foz.

Figura 6 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autora (2019)

4.1.2. Clima

Durante todo o ano, a região do Agreste em Alagoas e Pernambuco permanece sob o domínio da massa Equatorial Atlântica (Mea), que tem maior umidade na corrente inferior dos alísios. No inverno, as chuvas mais abundantes sobre a região ocorrem por conta da invasão de massas polares (Mpa) provenientes do sul do Brasil, que se incorporam aos ventos alísios de sudeste, trazendo umidade (GAMA, 2011).

Segundo GAMA (2011), a porção da Bacia do Rio Paraíba no Estado de Alagoas está situada numa região de clima tropical quente e chuvoso com verão seco do tipo As', segundo a classificação de Köppen. As temperaturas são bastante elevadas, com exceção das regiões serranas, onde, por efeito da altitude, tornam-se mais amenas. A média anual é em torno de 25°C, a temperatura média mensal mais elevada chega a atingir os 30°C. Os meses mais quentes são dezembro e fevereiro, enquanto o mais frio é quase sempre julho.

Na porção da bacia pertencente ao território pernambucano, o clima é classificado como subúmido, com curto período chuvoso (outono - inverno, correspondendo aos meses de março a setembro), BShs', segundo a classificação de Köppen. As temperaturas são elevadas com média anual de 25°C, e a pluviosidade média anual é de 750 mm (GAMA, 2011).

4.1.3. Relevo

A bacia do Rio Paraíba do Meio drena por duas estruturas geológicas distintas, uma cristalina, representada pelo maciço Pernambuco-Alagoas, e outra sedimentar, constituída pelos sedimentos pliopleistocênicos da Bacia Sedimentar Alagoas. No alto curso da bacia, a área é definida por uma superfície aplanada, de relevo ondulado com altitude entre 600 e 800 m. Já o médio curso caracteriza-se pela presença de formas estruturais e de dissecação homogênea, e o baixo curso, por uma superfície sedimentar dissecada em interflúvios tabuliformes e colinas (RODRIGUES, 2012).

As correlações entre geomorfologia, geologia, solos, cobertura vegetal e declividade, permitiram identificar ao longo da área drenada pela bacia dois domínios morfoesculturais: Planalto da Borborema, com três unidades morfológicas, Superfície Pediplanada Central, Superfície Dissecada do Rio Paraíba e Depressão Periférica, e o Baixo Planalto Sedimentar com as unidades: Tabuleiros Costeiros e Planície Flúvio-Lagunar (PDRH, 2001).

4.1.4. Solos

No Estado de Pernambuco, a bacia do Rio Paraíba do Meio está inserida principalmente na região do Agreste, além de abranger, no seu trecho superior, parte do microclima de altitude de Garanhuns e adjacências. Em função desta diversidade fisiográfica, a área apresenta uma variada ocorrência de solos com propriedades distintas, destacando-se em termos de extensão, Podzólicos, Regosolos, Planosol Solódico e Solos Litólicos. Outras classes de solos também são encontradas na bacia, porém com uma menor representatividade (RODRIGUES, 2012).

Já no Estado de Alagoas, de acordo com o PDRH (2011), a bacia está inserida nas regiões da zona do Agreste, Zona da Mata e Zona do Litoral. A área também apresenta ocorrência de solos com propriedades bastante distintas, destacando-se os Solos Hidromórficos, Solos Aluviais, Planossolos Solódicos, Latossolo Vermelho Amarelo, Podzólico Vermelho amarelo e Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico.

4.1.5. Vegetação

A cobertura vegetal apresenta características fitogeográficas da zona da caatinga representadas pelo Agreste, Mata e Litoral no Estado de Alagoas e pela Zona do Agreste no Estado de Pernambuco.

Na bacia, segundo GAMA (2011), encontra-se a Mata Tropical de encosta do tipo subperenifólio e subcaducifólio, nos alto e médio vale, no baixo a mata de tabuleiro, com algumas manchas de cerrado, e na Baixada Litorânea vegetação de restinga (Francês - Taperaguá - Massagueira) um pouco conservada. Na planície lagunar aparecem os mangues dos solos salobros, e nos mais arenosos, o mangue de porte lenhoso, chamado Seriba. Por sua vez, as áreas menos úmidas dos municípios de Bom Conselho, Terezinha, Saloá e Garanhuns apresentam o predomínio da vegetação de caatinga hipo e hiperxerófila de espécie decíduas, que variam de arbórea a arbustiva, dotadas de espinhos e com abundância de cactáceas e bromeliáceas, correspondentes às subzonas do agreste e sertão central.

As condições climáticas condicionam o aparecimento de uma cobertura vegetal dispersa (Caatinga) com variações para arbórea densa e arbórea aberta, e trechos de vegetação Florestal Secundária devido à intervenção antrópica (GAMA, 2011).

4.1.6. Outorgas na bacia

Por ser uma bacia de domínio da união, as outorgas no rio principal são analisadas e emitidas pela ANA (Agência Nacional de Águas), enquanto nos afluentes do mesmo as

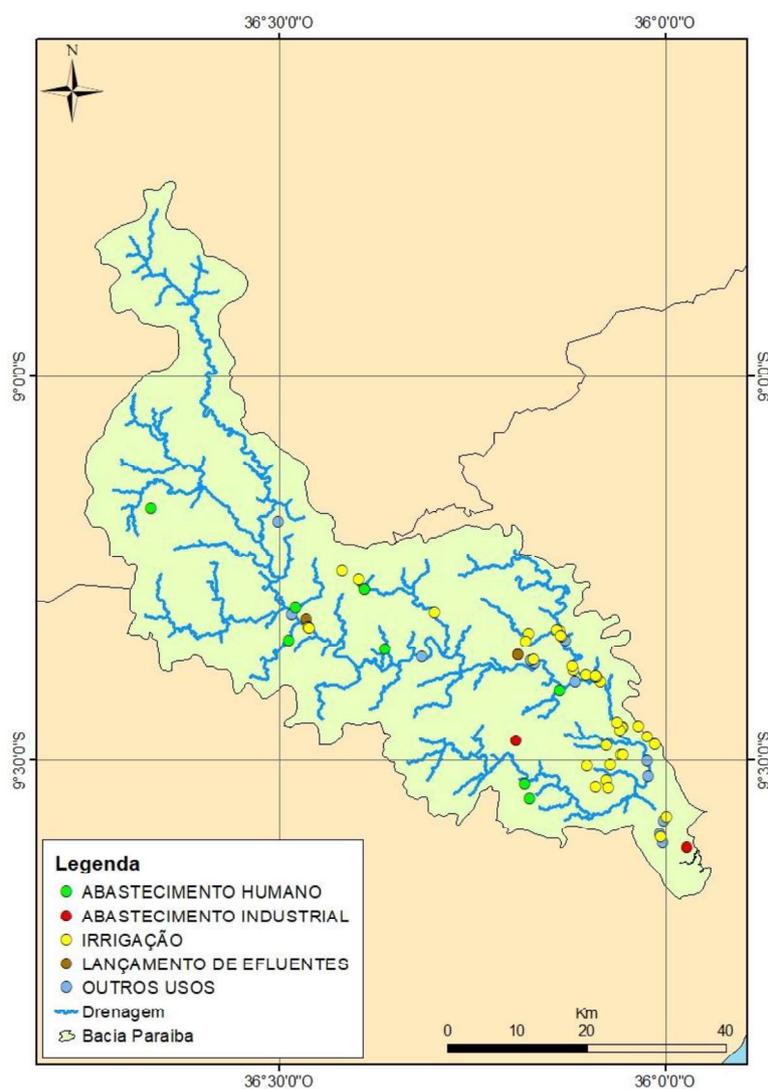
outorgas são de responsabilidade dos órgãos estaduais, neste caso, SEMARH (Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos) na porção alagoana e APAC (Agência Pernambucana de Água e Clima) na porção pernambucana.

De acordo com o cadastro de usuários da SEMARH-AL, a bacia possui trinta e quatro outorgas válidas, sendo sete para abastecimento humano, duas para abastecimento industrial, vinte e três para irrigação (das quais doze são referentes à construção de barragem), uma para lançamento de efluente e uma destinada a outros usos (Figura 7).

Os afluentes do rio principal na parte pernambucana são rios intermitentes, por isso, segundo técnicos da APAC, o número de usuários outorgados é bastante pequeno, tendo atualmente apenas três outorgas válidas na área de estudo, sendo uma para abastecimento industrial, uma para carcinicultura e uma para abastecimento público.

Já o cadastro de usuários outorgados da ANA apresenta vinte e seis usuários cujas outorgas estão válidas na bacia do Rio Paraíba do Meio, sendo duas referentes a lançamento de efluentes e o restante à captação de água, para as atividades de irrigação e mineração.

Figura 7 - Localização dos usuários cadastrados.



Observa-se pela descrição dos usuários outorgados na bacia (Tabela 3) a grande demanda por irrigação, e as pequenas demandas para abastecimento humano e lançamento de efluentes.

Tabela 3 - Descrição dos usuários outorgados na bacia do Rio Paraíba do Meio.

Característica	Finalidade/Uso	Município	Vz Conc. (M ³ /H)
Captação Superficial	Abastecimento Humano	Quebrangulo	648
Isenção De Outorga	Abastecimento Humano	Atalaia	0,44
Isenção De Outorga	Abastecimento Humano	Atalaia	0,64
Captação Superficial	Abastecimento Humano	Quebrangulo	360
Isenção De Outorga	Abastecimento Humano	Cajueiro	0,82
Isenção De Outorga	Abastecimento Humano	Quebrangulo	0,7
Transferência De Titularidade	Abastecimento Humano	Quebrangulo	360

Construção De Barragem	Abastecimento Humano	Paulo Jacinto	Não informado
Captação Superficial	Abastecimento Industrial	Pilar	2,16
Captação Superficial	Abastecimento Industrial	Atalaia	1,25
Construção De Barragem	Irrigação	Atalaia	Não informado
Construção De Barragem	Irrigação	Atalaia	Não informado
Construção De Barragem	Irrigação	Atalaia	Não informado
Construção De Barragem	Irrigação	Atalaia	Não informado
Construção De Barragem	Irrigação	Atalaia	Não informado
Construção De Barragem	Irrigação	Atalaia	Não informado
Construção De Barragem	Irrigação	Atalaia	64,08
Construção De Barragem	Irrigação	Atalaia	Não informado
Construção De Barragem	Irrigação	Atalaia	Não informado
Construção De Barragem	Irrigação	Atalaia	Não informado
Construção De Barragem	Irrigação	Atalaia	Não informado
Captação Superficial	Irrigação	Quebrangulo	55,37
Captação Superficial	Irrigação	Capela	210
Captação Superficial	Irrigação	Cajueiro	130
Captação Superficial	Irrigação	Cajueiro	130
Captação Superficial	Irrigação	Cajueiro	130
Captação Superficial	Irrigação	Cajueiro	130
Captação Superficial	Irrigação	Cajueiro	110
Captação Superficial	Irrigação	Cajueiro	150
Captação Superficial	Irrigação	Cajueiro	130
Captação Superficial	Irrigação	Viçosa	130
Captação Superficial	Irrigação	Viçosa	28
Captação Superficial	Irrigação	Quebrangulo	105,1
Lançamento De Efluentes	Lançamento De Efluentes	Viçosa	3,02
Isenção De Outorga	Outros Usos	Cajueiro	0,5
Captação Superficial	Abastecimento Humano	Bom Conselho	36
Captação Superficial	Carcinicultura	Goiana	20,83
Captação Superficial	Abastecimento Industrial	Bom Conselho	9,58
Captação Superficial	Irrigação	Atalaia	125,00
Captação Superficial	Irrigação	Capela	120,00
Captação Superficial	Irrigação	Capela	90,00
Lançamento De Efluentes	Esgotamento Sanitário	Quebrangulo	11,00
Captação Superficial	Irrigação	Quebrangulo	40,00
Captação Superficial	Irrigação	Quebrangulo	40,00
Captação Superficial	Obras Hidráulicas	Pilar	4,00
Captação Superficial	Consumo Humano	Marechal Deodoro	1,00
Captação Superficial	Irrigação	Capela	150,00
Captação Superficial	Irrigação	Cajueiro	140,00

Captação Superficial	Irrigação	Pilar	250,00
Captação Superficial	Irrigação	Atalaia	250,00
Captação Superficial	Irrigação	Atalaia	220,00
Captação Superficial	Irrigação	Atalaia	220,00
Captação Superficial	Irrigação	Atalaia	220,00
Captação Superficial	Mineração	Capela	200,00
Captação Superficial	Mineração	Pilar	200,00
Captação Superficial	Irrigação	Quebrangulo	110,00
Captação Superficial	Mineração	Quebrangulo	6,00
Captação Superficial	Mineração	Viçosa	200,00
Captação Superficial	Mineração	Atalaia	200,00
Captação Superficial	Mineração	Atalaia	200,00
Captação Superficial	Mineração	Capela	200,00
Captação Superficial	Mineração	Cajueiro	200,00
Captação Superficial	Mineração	Cajueiro	120,00

4.2. Estimativa de demandas e consumos

Como mostrado na Tabela 3, são poucas as outorgas de captação para abastecimento humano e lançamento de efluentes. Dessa forma, as captações foram estimadas com base no consumo per capita e na população urbana, rural, e pecuária para cada município cujos centros urbanos estão inseridos na bacia. As estimativas de captação obtidas foram utilizadas em todos os métodos avaliados neste estudo.

Para a população urbana, os valores adotados para cada município tiveram como base os dados do SNIS (2017). Já para a população rural o valor adotado foi de 90 L/hab/dia, como sugerido por CREDER (1999) apud NASCIMENTO (2016).

Tabela 4 - Consumo per capita nos municípios

UF	Município	Rural per capita (L/hab/dia)	Urbano per capita 2017 (L/hab/dia)
PE	Bom conselho	90	92.7
	Brejão	90	68.1
	Paranatama	90	53.9
	Terezinha	90	66.9
AL	Atalaia	90	150
	Cajueiro	90	201.4
	Capela	90	66.9
	Chã Preta	90	150
	Mar Vermelho	90	75.9
	Pindoba	90	76.5
	Quebrangulo	90	122.2
	Viçosa	90	121.7

Fonte: SNIS (2017)

Para o consumo da pecuária, os valores utilizados para a população de animais per capita foram os sugeridos por TELLES e DOMINGUES (2006) apud NASCIMENTO (2016).

Tabela 5 - Consumo per capita no setor pecuário

	Bovino, Bubalino, Equino, Asinino, Muar	Suíno	Caprino e Ovino	Galos e Galinhas
Demanda (L/cab/dia)	50	12.5	10	0.25

Fonte: TELLES e DOMINGUES (2006) apud NASCIMENTO (2016).

Já para as demandas de irrigação e abastecimento industrial foram usados os dados das outorgas em período vigente.

Para estimar o real consumo da água, foram considerados os usos consuntivos e seus respectivos fatores de consumo, usando como referências os valores dispostos no Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019).

Tabela 6 - Fator de consumo

Usos	Fator de Consumo
Abastecimento Urbano	0,2
Abastecimento Rural	0,2
Abastecimento Industrial	0,2
Mineração	0,85
Irrigação	1
Pecuária	0,7
Outros Usos	1

Fonte: ANA, 2019.

4.3.Obtenção de dados em campo

Foram realizadas campanhas de campo a fim de coletar amostras de água e verificar sua qualidade. As análises foram feitas no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA), no Centro de Tecnologia (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Os resultados foram utilizados para caracterizar o rio de acordo com as classes para cada parâmetro.

Os parâmetros analisados foram:

- Oxigênio Dissolvido (OD);
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO);
- Coliformes Totais e E.Coli;
- Série Nitrogenada (Nitrogênio Total, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito e Nitrato);
- Fósforo.

As análises foram realizadas conforme as metodologias descritas na Tabela 2.

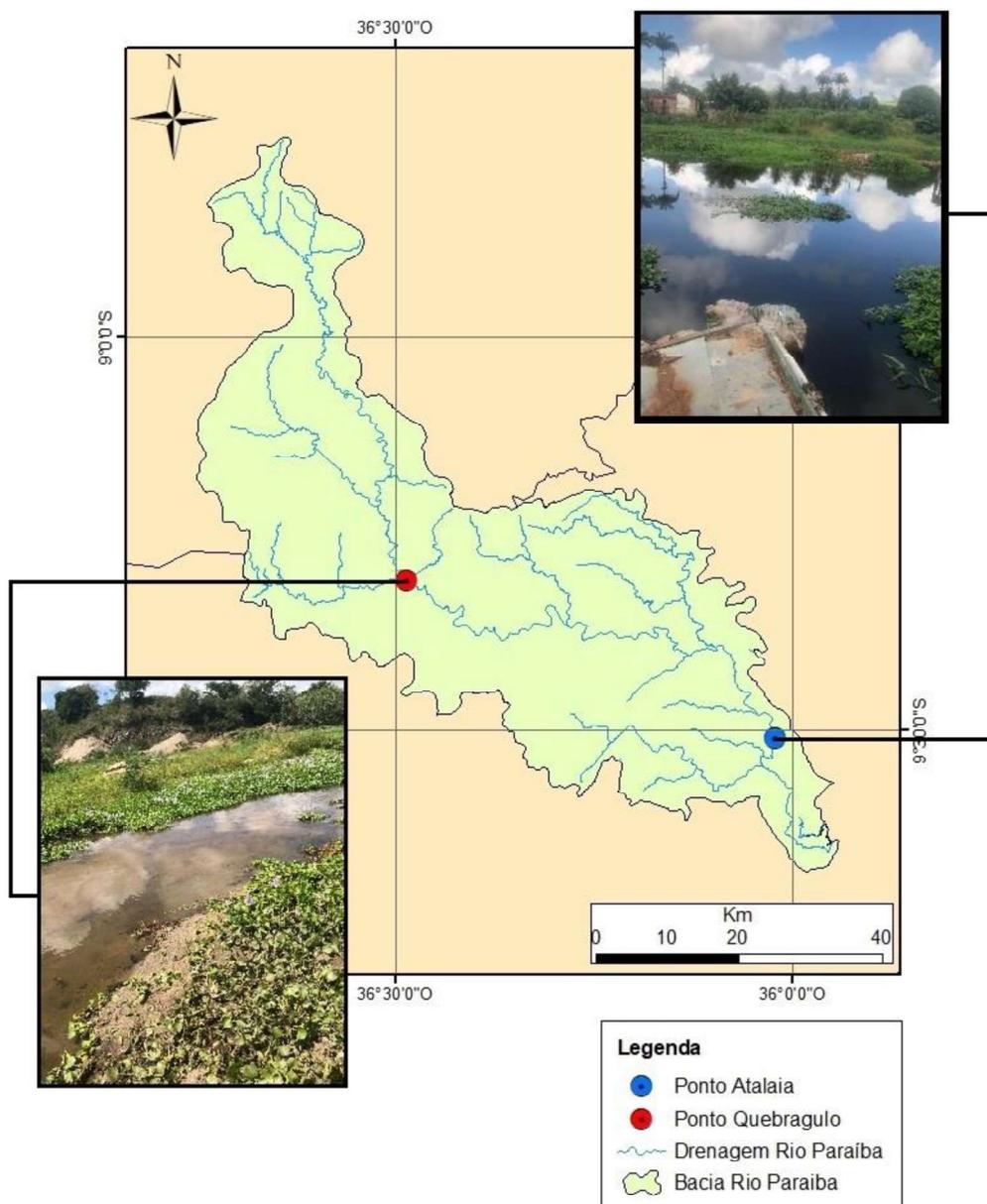
Tabela 7 – Metodologias utilizadas para análise de qualidade.

Parâmetro	Metodologia
Oxigênio Dissolvido	Sonda de qualidade
pH	Sonda de qualidade
NTK	Titulométrico (APHA,2005)
Nitrogênio Amoniacal	Titulométrico (MACKERETH; HERON; TALLING,1978)
Nitrito	Espectrofotométrico (MACKERETH; HERON; TALLING,1978)
Nitrato	Espectrofotométrico (MACKERETH; HERON; TALLING,1978)
Análise micro-biológica	Meio de cultura EC MUG (APHA, 2005)
DBO	Sensor de DBO

Fonte: Autora (2019).

Os pontos para coleta de água foram definidos de forma a permitir a verificação da qualidade da água a montante e a jusante de cidades cortadas pelo rio (por ser um rio intermitente em Pernambuco, foram consideradas as cidades cortadas pelo rio apenas no estado de Alagoas) a fim de verificar a influência das captações de água e lançamentos de efluentes ao longo do mesmo, como mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Pontos de coleta.



Fonte: Autora, 2019.

As coletas e análises foram feitas com objetivo de caracterizar a situação qualitativa da água do Rio Paraíba em época de estiagem, e foram realizadas entre os meses de fevereiro e abril de 2019.

4.4.Simulação SGAD

O SGAD (Sistema de Gerenciamento de Suporte à Decisão) é um pacote de ferramentas que facilita a gestão de bacias hidrográficas em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), simulando, através dos dados de disponibilidade hídrica e diversos

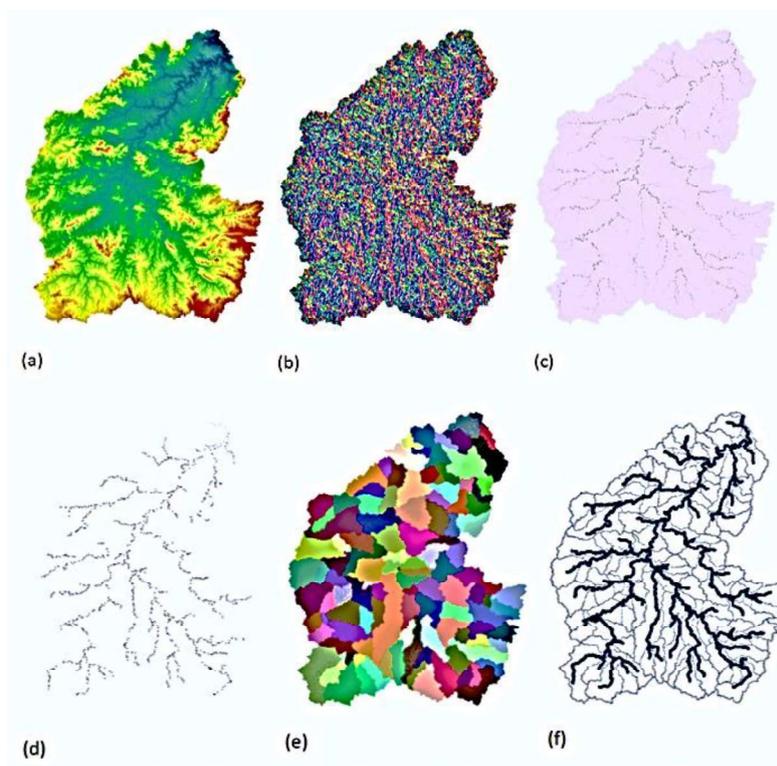
usos, os impactos das demandas sobre a disponibilidade quantitativa e a qualitativa da água.

As etapas de discretização da bacia e o processamento do Modelo de Grandes Bacias (MGB) foram realizados previamente no estudo desenvolvido por Carvalho e JR (2019).

4.4.1. Discretização da bacia

A discretização da bacia se deu a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE), de onde foram obtidos dados como área e rede de drenagem, definição de trechos de rios, direção do fluxo e definição de minibacias.

Figura 9 - Esquema hipotético de geração dos arquivos vetoriais de entrada que representam a bacia hidrográfica



Onde: a) Modelo Digital de Elevação, b) cálculo das direções de fluxo, c) cálculo da área acumulada, d) definição dos trechos de drenagem formato raster, e) discretização em minibacias – formato raster, f) rede de drenagem e minibacias em formato vetorial.

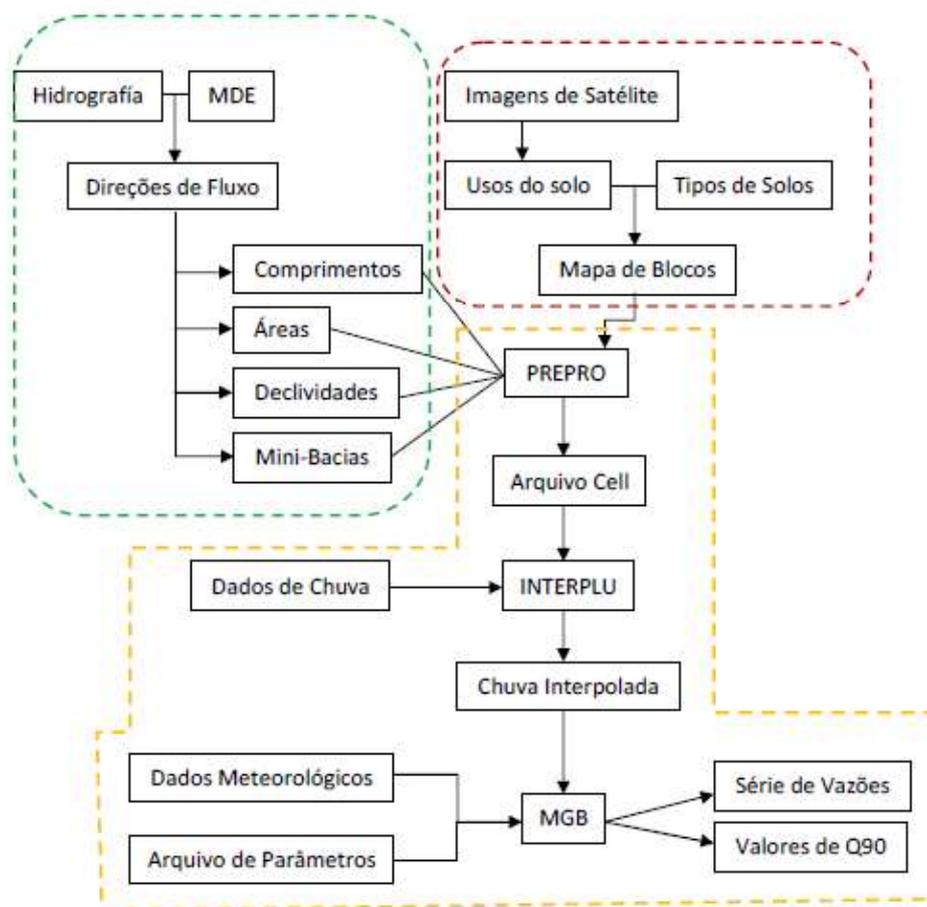
4.4.2. Cálculo da disponibilidade hídrica

Os dados de disponibilidade hídrica da área de estudo foram obtidos a partir de modelagem hidrológica, provenientes de um estudo atual cujo modelo utilizado é o Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH).

O MGB utiliza dados de precipitação, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, insolação e pressão atmosférica para calcular as vazões dos rios de uma bacia hidrográfica, que é discretizada em minibacias para o processamento dos dados.

A preparação dos dados de entrada os processos e resultados do MGB são resumidos na Figura 10:

Figura 10 - Preparação dos dados, processos e resultados do MGB-IPH.



4.4.3. Informações de demanda

As informações sobre as demandas foram obtidas de acordo com o item 4.2 deste estudo. O modelo permite a inserção de dados de usuários e armazena os valores de vazão outorgada trecho a trecho, calculando o balanço entre a disponibilidade hídrica e os impactos que a inclusão de novos usuários causa nos trechos a jusante, além de determinar o comprometimento hídrico total.

A soma das demandas por usuário não deverá ultrapassar o limite máximo de 90% (noventa por cento) da vazão de referência, sendo esta a vazão do corpo hídrico com

frequência de 90% na curva de permanência a nível diário, como determinado no Decreto Estadual nº 49.419, de 18 de julho de 2016.

4.4.4. Informações de qualidade

Assim como são inseridos os pontos de captação de água superficial na bacia, o modelo também permite inserir a localização dos pontos de lançamento de efluentes, bem como suas respectivas vazões e cargas associadas.

Os parâmetros de qualidade que podem ser simulados no modelo são demanda bioquímica do oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), fósforo (orgânico, inorgânico e total), coliformes e nitrogênio (orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato).

Para calibrar o modelo, foram feitas campanhas de observação, onde foram realizadas coletas nos pontos definidos para análise dos parâmetros de qualidade supracitados.

O modelo considera as transformações dos constituintes do efluente devido aos processos de decomposição, sedimentação, além de outras. As equações partem do esquema clássico de Streeter-Phelps, agregando-se outras variáveis, como a sedimentação da matéria orgânica, além da consideração dos elementos fosfatados e nitrogenados e também da modelagem dos coliformes termotolerantes.

4.4.5. Saídas do modelo

O modelo apresenta saídas gráficas e numéricas que ajudam a representar a situação da bacia hidrológica em termos de disponibilidade e demandas de água, expresso em índice de estresse hídrico, bem como a situação da qualidade por trecho de rio, apresentando o perfil longitudinal para cada parâmetro estudado.

4.5. Apropriação da água

A estimativa de apropriação de água por usuário será feita de acordo com as equações propostas por Kelman (1997), descritas a seguir.

4.5.1. Quantidade

Para avaliar a disponibilidade em termos quantitativos, foi utilizada a Equação 9.

4.5.2. Qualidade

Para fazer análise do balanço através das Equações 10, 11 e 12, foi considerado que as concentrações de parâmetros de qualidade de um rio em condições naturais, ou

seja, sem influência antrópica, se encaixam no enquadramento Classe 1 segundo a Resolução CONAMA 357 de 2007. Já como concentração máxima permitida, foram utilizados os limites estabelecidos pela mesma Resolução, mas para rios de Classe 2, visto que assim são classificadas 2 todas as águas doces do país enquanto não forem feitos os enquadramentos pelos órgãos competentes, segundo o artigo 42 da mesma resolução.

Dessa forma, os seguintes valores foram utilizados para avaliar a apropriação da água em termos qualitativos:

Tabela 8 - Valores de concentração utilizados no balanço qualitativo

Concentração em condições naturais		Concentração permitida	
DBO (mg/l)	3	DBO (mg/l)	5
NTK (mg/l)	1	NTK (mg/l)	3.5
Coliformes (nmp/100ml)	200	Coliformes (nmp/100ml)	1000
Fósforo total (mg/l)	0.025	Fósforo total (mg/l)	0.05

Fonte: CONAMA 357 (2007).

Como a bacia do Rio Paraíba apresenta apenas uma outorga de lançamento de efluentes válida, optou-se por considerar as cidades cujos centros urbanos estão dentro da bacia como usuárias que lançam efluente diretamente no rio, sendo a vazão de lançamento igual à vazão de retorno (80% do que é demandado).

As cargas totais foram então calculadas com base nas contribuições per capita teóricas descritas por Von Sperling (2007), utilizando a população por município e o número de cabeças da população animal (cargas provenientes da pecuária) de acordo com dados disponíveis no IBGE.

Tabela 9 - Carga per capita para população humana

Parâmetro	Unidade	Carga
DBO	g/hab/d	54
Fósforo	g/hab/d	2.5
Coliformes	org./hab/d	10000000
Nitrogênio	g/hab/d	8

Fonte: Von Sperling (2007)

Tabela 10 - Carga per capita para população pecuária

Parâmetro	Unidade	Bovinos	Ovinos e suínos
DBO	g/cab/d	421.8	5.44
Fósforo	g/cab/d	10.45	0.17
Coliformes	organismos em 100ml de efluente/cab/d	7E+09	200000000
Nitrogênio	g/cab/d	41.38	0.52

Fonte: Von Sperling (2007)

5. RESULTADOS

5.1. Qualidade da Água

Os parâmetros de qualidade da água traduzem suas principais características físicas, químicas e biológicas, representando assim seu grau de pureza e qualidade (Von sperling, 2005). Os resultados obtidos nas análises de cada parâmetro foram representados em gráficos do tipo Box-Plot.

As análises feitas nas amostras coletadas nos pontos de monitoramento foram analisadas com base no padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria 2.914 de 2011, do Ministério da Saúde, e pela Resolução CONAMA 357 de 2005, no que se refere aos padrões dos corpos d'água e lançamento de efluentes. As medianas dos resultados foram utilizadas para classificar os trechos de acordo com as classes estabelecidas na mesma Resolução.

5.1.1. Coliformes

A análise de coliformes fornece informações sobre a potabilidade da água, isto é, ausência de risco de ingestão de micro-organismos causadores de doenças, geralmente provenientes da contaminação pelas fezes humanas e outros animais de sangue quente. Vale ressaltar que os micro-organismos presentes nas águas naturais são, em sua maioria, inofensivos à saúde humana. Porém, na contaminação por esgoto sanitário estão presentes micro-organismos que poderão ser prejudiciais à saúde humana (BRASIL, 2013).

Os resultados das análises laboratoriais mostram que a concentração de coliformes é baixa em sua maioria, com picos em locais e dias diferentes. Vale ressaltar a presença de animais como cavalos e cachorros muito próximos aos pontos de coletas nos dias em que os resultados se apresentaram elevados, o que provavelmente interferiu nos valores obtidos.

Os valores de coliformes não deverão ser superiores a 1.000 NMP/100mL em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral, segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

Considerando a mediana como valor de referência, o rio pode ser considerado Classe 2 em ambos os pontos coletados, tendo que o valor foi inferior ao máximo permitido, e que os valores acima do estabelecido são justificáveis pela presença dos animais.

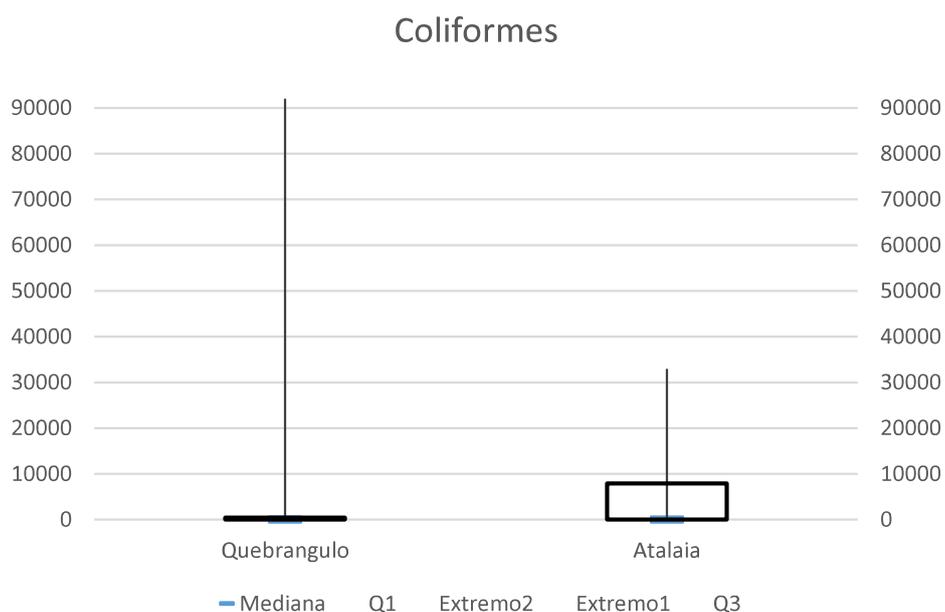
Tabela 11 - Resultados para Coliformes (NMP/100mL)

Coliformes

Data	Quebrangulo	Atalaia
18-Feb	450	33000
20-Mar	1.8	1.8
28-Mar	1.8	1.8
10-Apr	1.8	7900
17-Apr	92000	45
Mediana	1.8	45

Fonte: Autora (2019)

Figura 11 - Gráfico de análises para coliformes.



Fonte: Autora (2019)

5.1.2. Nitrogênio

A presença de Nitrogênio da água, se não de forma natural, é dada por despejos domésticos e industriais, excrementos de animais ou fertilizantes. A ocorrência em sua forma orgânica ou de amônia pode indicar contaminação recente, enquanto as formas mais oxidadas (nitrito e nitrato) indicam contaminação antiga.

Nas análises da série nitrogenada, os valores de Nitrogênio Orgânico e Amoniacal foram mais expressivos que os valores de Nitrito e Nitrato, indicando, em ambos os pontos, a possibilidade de poluição recente.

Em Quebrangulo apenas em uma das análises a concentração de Nitrogênio Amoniacal ficou abaixo do limite máximo permitido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios Classe 2, de 3,7 mg/L. Em Atalaia o limite máximo foi superado duas vezes.

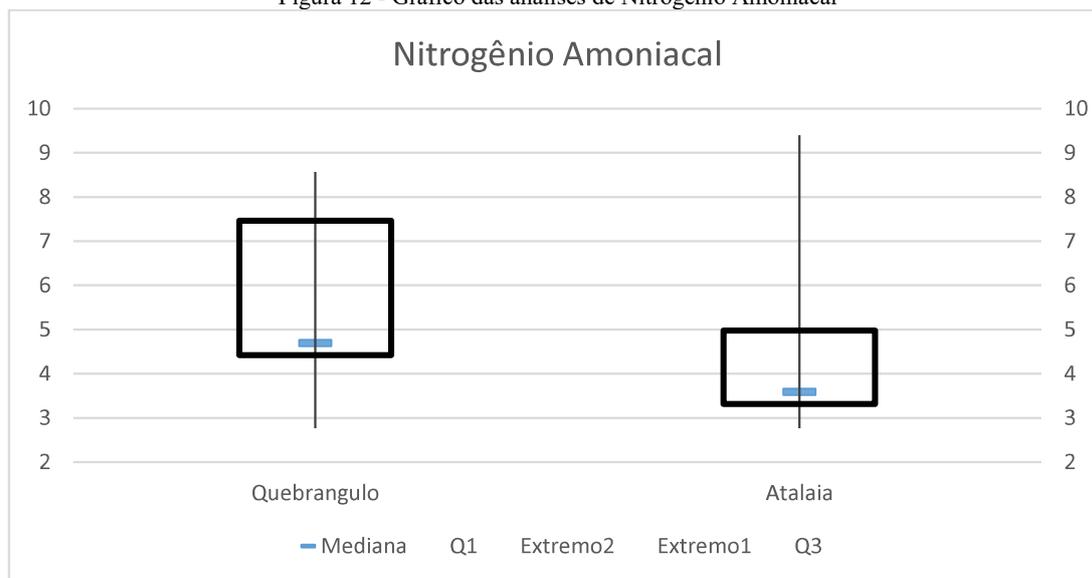
Se consideradas as medianas para ambos os pontos para fazer a classificação dos respectivos trechos, o trecho de Quebrangulo é classificados como classe 3, cujo valor máximo permitido para o parâmetro Nitrogênio Amoniacal é de 13,5 mg/L. Já o trecho de Atalaia, apesar do limite ser ultrapassado em duas análises, a mediana atende o valor máximo permitido para rios Classe 2.

Tabela 12 - Resultados Nitrogênio Amoniacal (mg/L)

N Amoniacal (mg/L)		
Data	Quebrangulo	Atalaia
18-Feb	7.46172	2.7636
20-Mar	2.7636	3.31632
28-Mar	4.69812	3.59268
10-Apr	8.56716	4.97448
17-Apr	4.42176	9.39624
Mediana	4.69812	3.59268

Fonte: Autora (2019).

Figura 12 - Gráfico das análises de Nitrogênio Amoniacal



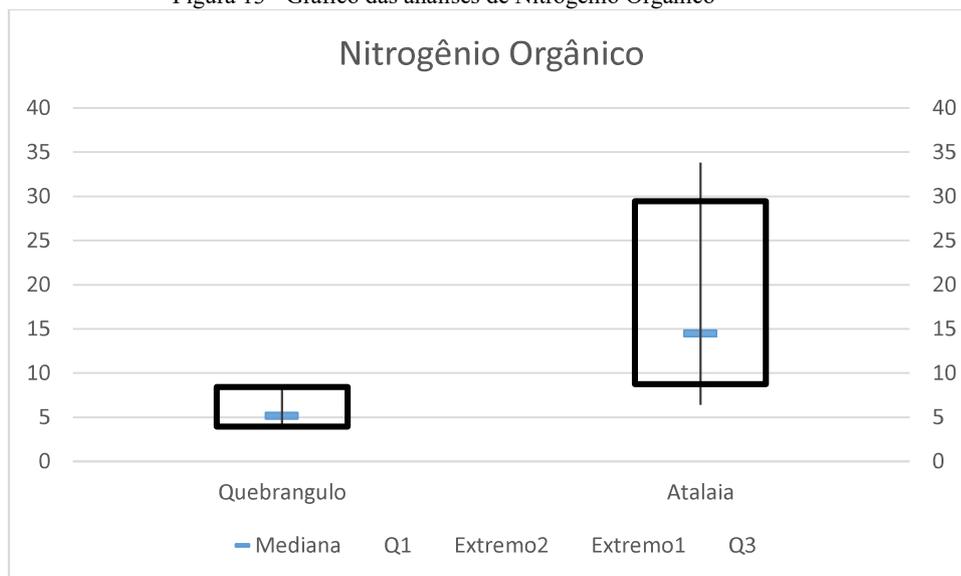
Fonte: Autora (2019).

Tabela 13 - Resultados Nitrogênio Orgânico

N Orgânico (mg/L)		
Data	Quebrangulo	Atalaia
18-Feb	8.5554	29.45852
20-Mar	8.42296	14.48048
28-Mar	3.94604	6.38904
10-Apr	5.1618	33.82456
17-Apr	3.71392	8.75448
Mediana	5.1618	14.48048

Fonte: Autora (2019).

Figura 13 - Gráfico das análises de Nitrogênio Orgânico



Fonte: Autora (2019).

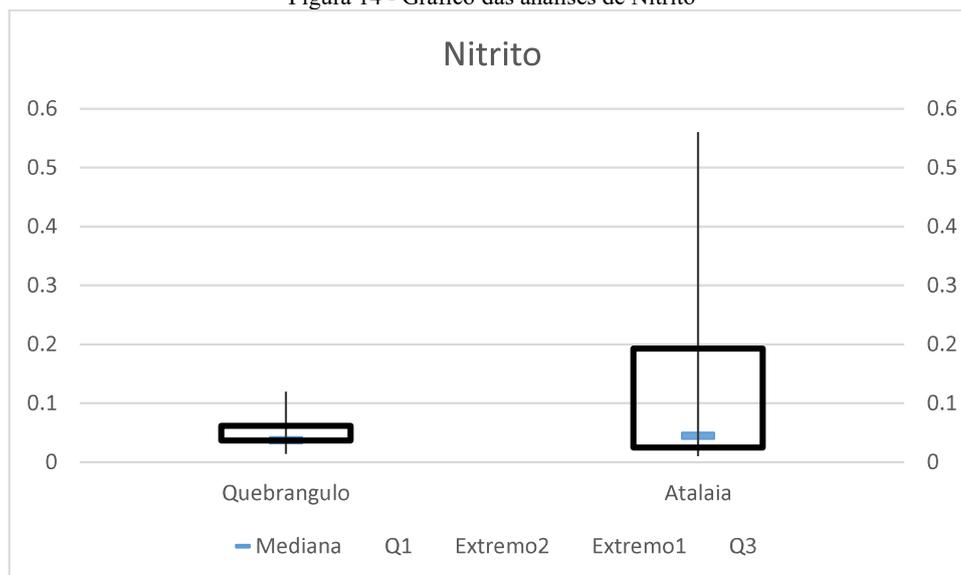
Os valores de Nitrito e Nitrato foram quase que insignificantes, apresentando valores que variam de 0,003 a 0,560 mg/L, estando, neste caso, dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria N° 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde e do valor máximo permitido pela Resolução CONAMA 357/2005, que tem como limite máximo a concentração de 10 mg/L de Nitrato e 1,0 mg/L de Nitrito para cursos d'água enquadrados na Classe 2. Os valores obtidos através da análise laboratorial não indicam contaminação antiga em nenhum dos pontos de coleta.

Tabela 14 - Resultados Nitrito

Nitrito (mg/L)		
Data	Quebrangulo	Atalaia
18-Feb	0.0375	0.025
20-Mar	0.0365	0.045
28-Mar	0.1195	0.5605
10-Apr	0.014	0.01
17-Apr	0.0615	0.193
Mediana	0.0375	0.045

Fonte: Autora (2019).

Figura 14 - Gráfico das análises de Nitrito



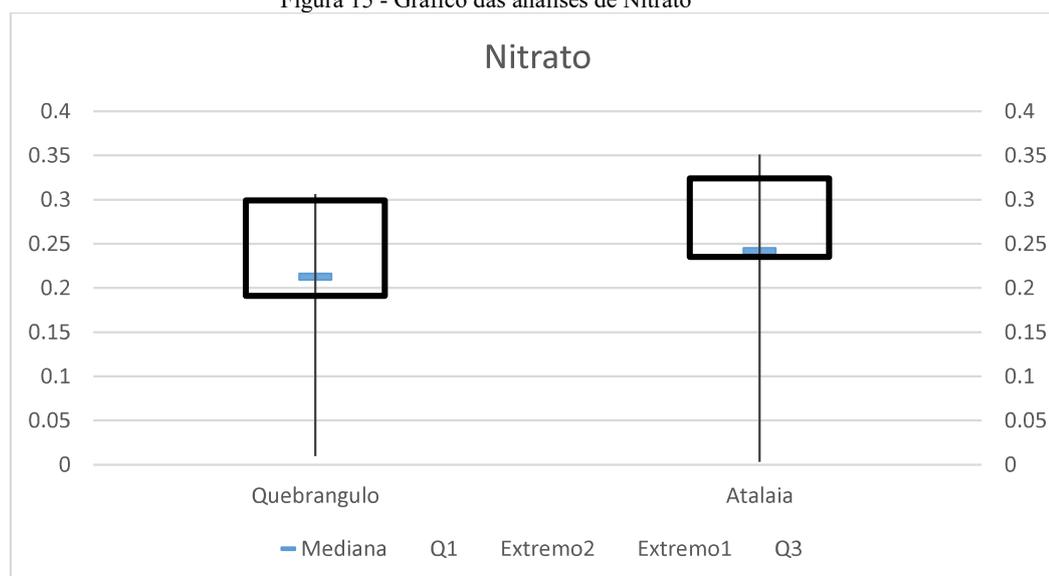
Fonte: Autora (2019).

Tabela 15 - Resultados Nitrato (mg/L)

Nitrato (mg/L)		
Data	Quebrangulo	Atalaia
18-Feb	0.0096	0.0032
20-Mar	0.1912	0.2416
28-Mar	0.3064	0.3512
10-Apr	0.2992	0.2352
17-Apr	0.2128	0.324
Mediana	0.2128	0.2416

Fonte: Autora (2019).

Figura 15 - Gráfico das análises de Nitrato



Fonte: Autora (2019).

5.1.3. Fósforo

Os despejos residenciais e industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes são fontes antrópicas de fósforo nos corpos d'água. De acordo com a Resolução CONAMA 357 de 2005, em condições naturais, um rio é considerado Classe 2 quando a concentração de fósforo não ultrapassa o valor de 0,050 mg/L.

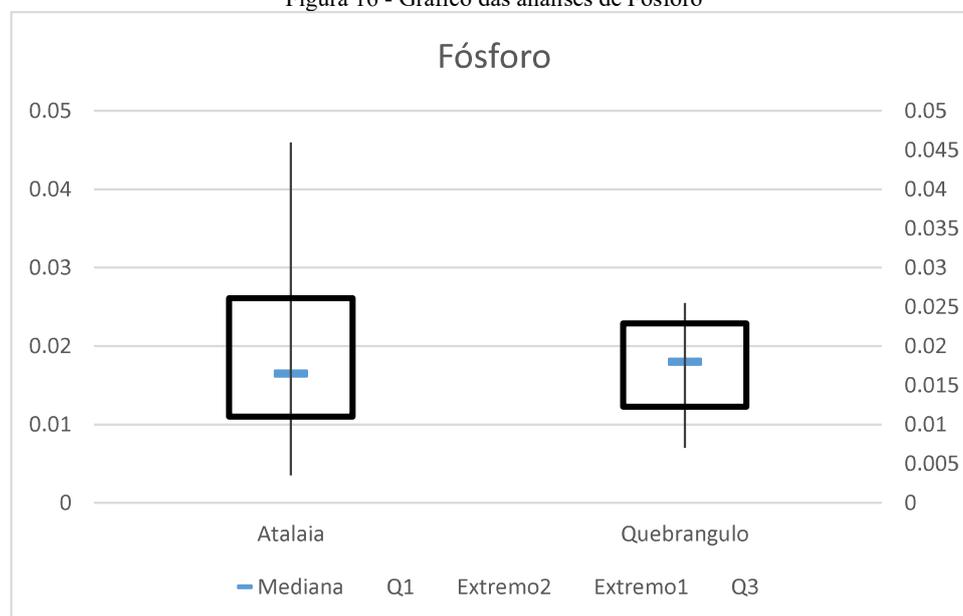
Nos pontos analisados, a concentração de fósforo variou entre 0,007 e 0,046 mg/L no período em que foram coletadas as amostras, não indicando contaminação por este poluente, podendo ambos os trechos serem classificados como Classe 2 de acordo com este parâmetro.

Tabela 16 - Resultados Fósforo (mg/L)

Fósforo (mg/L)		
Data	Quebrangulo	Atalaia
20-Mar	0.0195	0.022
28-Mar	0.0035	0.014
10-Apr	0.0135	0.007
17-Apr	0.046	0.0255
Mediana	0.0115	0.018

Fonte: Autora (2019).

Figura 16 - Gráfico das análises de Fósforo



Fonte: Autora (2019).

5.1.4. Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos.

A concentração de saturação (nível do mar) do oxigênio dissolvido é de 9,2 mg/L. Valores muito inferiores a este, indicam a presença de matéria orgânica no corpo d'água, que pode ser oriunda de esgotos.

Os valores de OD no ponto de Quebrangulo (montante) se mostraram mais elevados que no ponto de Atalaia (jusante) em todas as campanhas, indicando que o ponto mais a jusante pode estar sofrendo efeitos do consumo de oxigênio devido à contaminação ao longo da bacia.

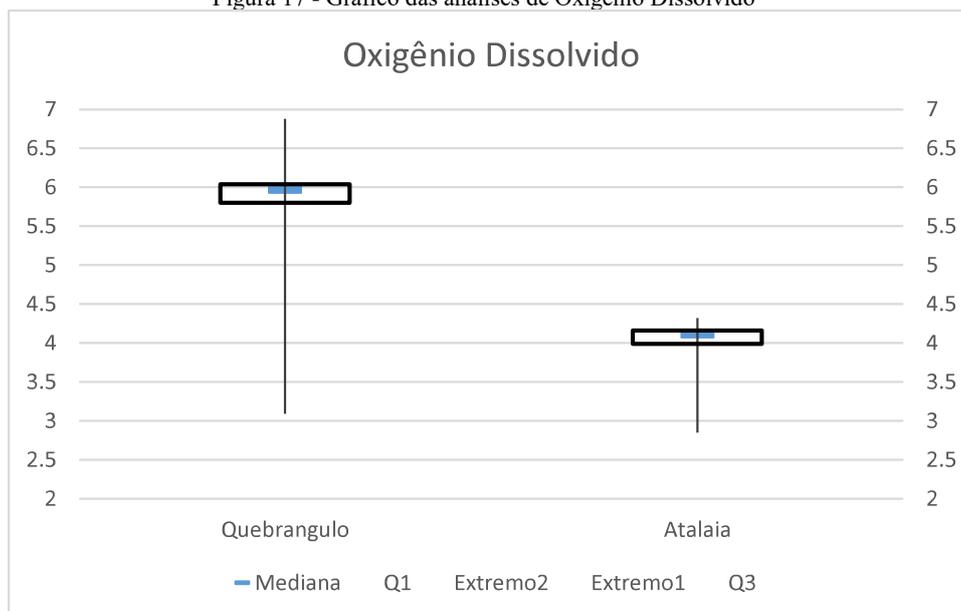
Considerando a mediana para os dois pontos analisados, o ponto de Quebrangulo pode ser classificado como Classe 2, cujo valor mínimo de OD estabelecido pela Resolução CONAMA 257/2005 é de 5 mg/L. Para rios de Classe 3, o valor mínimo de OD é de 4 mg/L de acordo com a mesma Resolução, dessa forma, o ponto de análise em Atalaia se encaixa nesta classificação.

Tabela 17 - Resultados Oxigênio Dissolvido (mg/L)

Oxigênio Dissolvido		
Data	Quebrangulo	Atalaia
18-Feb	5.97	4.16
20-Mar	3.09	2.85
28-Mar	5.8	4.11
10-Apr	6.04	4.32
17-Apr	6.88	3.99
Mediana	5.97	4.11

Fonte: Autora (2019).

Figura 17 - Gráfico das análises de Oxigênio Dissolvido



Fonte: Autora (2019).

5.1.5. Matéria Orgânica

A Matéria Orgânica é a causadora do principal problema de poluição das águas: o consumo do oxigênio dissolvido pelos micro-organismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica.

Medida em termos de DBO (Demanda Bioquímica do Oxigênio), as concentrações foram superiores à concentração típica de esgoto doméstico, que segundo VON SPERLING (2005) é de 300 mg/L.

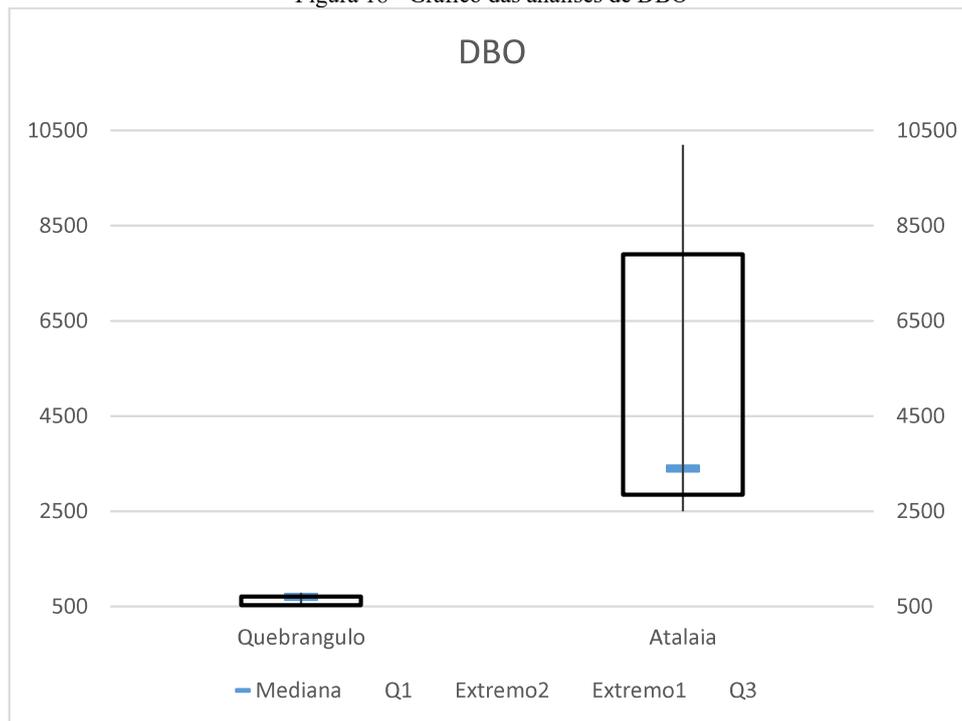
Observa-se ainda que os valores no ponto mais a jusante foram expressivamente maiores que no ponto mais a montante. De fato, se comparados aos das análises de Oxigênio Dissolvido, percebe-se que estes resultados indicam que há maior consumo de oxigênio por micro-organismos no ponto que recebe contribuição de toda a bacia.

Tabela 18 - Resultados DBO (mg/L)

DBO (mg/L)		
Data	Quebrangulo	Atalaia
18-Feb	710	10200
20-Mar	790	7900
28-Mar	500	2850
10-Apr	530	2500
17-Apr	700	3400
Mediana	710	7900

Fonte: Autora (2019).

Figura 18 - Gráfico das análises de DBO



Fonte: Autora (2019).

5.1.6. Classificação

O parâmetro Nitrogênio Amoniaco classifica o ponto de Quebrangulo como Classe 3, indicando que há contaminação recente naquele trecho. Já os parâmetros OD e DBO são mais expressivos em Atalaia, classificando o trecho como Classe 3 e indicando a presença contaminação por matéria orgânica ao longo do rio, de montante para jusante.

As classes cujos pontos analisados se enquadram variaram de acordo com cada parâmetro. Classificando pela classe mais baixa, ambos os pontos são enquadrados na Classe 3, visto que os parâmetros OD, Nitrogênio Amoniaco e DBO se enquadram nos valores estabelecidos para esta classe.

Como não há enquadramento aprovado para o rio estudado, o mesmo deve ser considerado classe 2, segundo a CONAMA 357/2005. Se considerados então os parâmetros de qualidade analisados, percebe-se que o rio não suporta mais despejos de efluentes sem que interfira em seu enquadramento. Portanto, novas solicitações de outorga podem ser negadas se considerados todos estes os parâmetros de qualidade em ambos os trechos. Se considerados apenas os parâmetros OD e DBO (como é feito atualmente no órgão gestor em Alagoas), novas outorgas poderiam ser concedidas em Quebrangulo quando a carga de lançamento fosse suportada e não interferisse na qualidade a jusante.

5.2.Método utilizado pela ANA: Apropriação da água

A água apropriada por determinado usuário, fica indisponível para usuários a jusante, impossibilitando assim sua utilização. Baseado nesse conceito, foram aplicadas as equações de Kelman (1997) para avaliar a possibilidade de inserção de novos usuários ao longo dos trechos do Rio Paraíba do Meio.

5.2.1. Apropriação em termos de quantidade

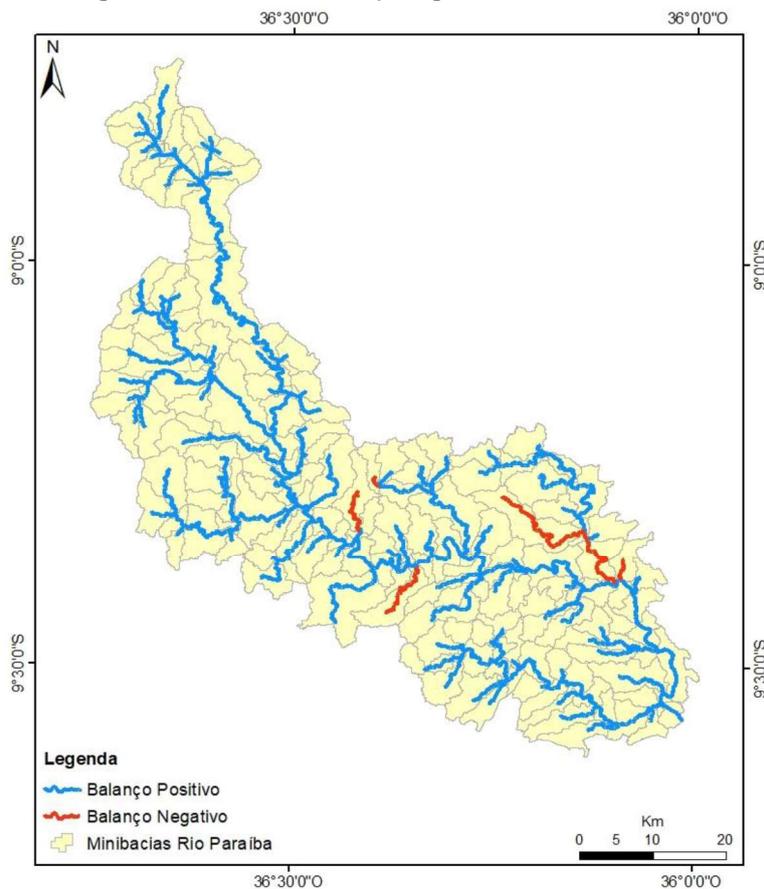
Para a apropriação em termos de quantidade, foi realizado o cálculo do balanço hídrico segundo a equação de Kelman, utilizando um coeficiente de utilização para cada trecho de acordo com o tipo de usuário existente no local.

Dos 203 trechos de rio (separados em mini bacias), apenas 7 apresentaram balanço hídrico negativo, sendo em sua maioria nos meses de estiagem, indicando que nestes períodos a demanda é maior que a disponibilidade hídrica. Observa-se ainda que todos os trechos que apresentaram balanço negativo (com exceção da mini bacia 71) apresentam atividade de irrigação, cujo coeficiente de consumo é 1, ou seja, a água que é captada e utilizada na irrigação não retorna ao corpo d'água.

Nestes trechos cuja disponibilidade está comprometida por conta da alta demanda, a inserção de novos usuários não seria mais suportada. A vazão de restrição estabelecida pelo órgão gestor não seria suficiente para atender as demandas de captação e ainda diluir cada contaminante presente no efluentes lançados, caso fossem solicitadas outorgas para este uso. Haveria então conflitos pelo uso da água, e uma nova alocação deveria ser feita.

Os trechos do rio cujo balanço se deu negativo em pelo menos um mês do ano, utilizando o método de Kelman é apresentado na Figura 19, para melhor visualização.

Figura 19 - Trechos com balanço Negativo - Método de Kelman



Fonte: Autora (2019).

5.2.2. Apropriação em termos de qualidade

Utilizando ainda as equações de Kelman (1997), foram avaliadas as situações de disponibilidade de cada trecho de rio considerando não apenas o volume de água captado pelos usuários, mas também a quantidade de água utilizada para diluir os contaminantes DBO, Fósforo total, Nitrogênio Total e Coliformes.

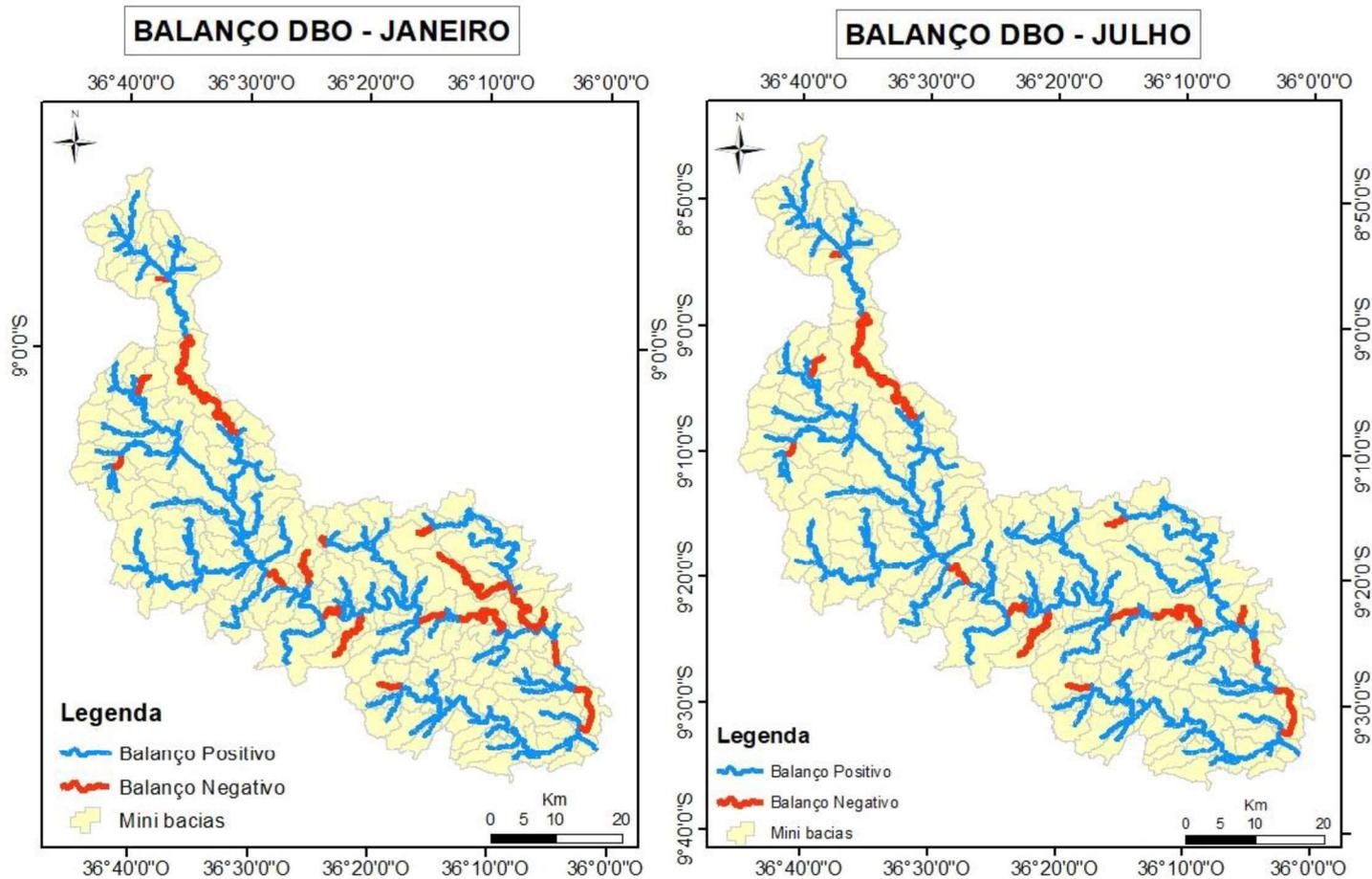
O número de trechos cuja vazão apropriada pelos usuários para diluir os poluentes é maior que a vazão disponível aumenta consideravelmente se comparado com o resultado apresentado no item anterior, onde apenas as captações de água foram consideradas no cálculo do balanço hídrico.

Em termos de DBO, Nitrogênio total e Coliformes, um total de 19 trechos tiveram o balanço negativo. Quando considerado o parâmetro Fósforo total, o número de trechos cai para 15. Os trechos afetados são os mesmos em todos os casos, exatamente os trechos onde estão localizados os centros urbanos dos municípios considerados para estimar as cargas de lançamento de efluentes.

As Figuras 21, 22, 23 e 24 apresentam o resultado do balanço hídrico considerando a vazão apropriada pelos usuários para diluir cada um dos parâmetros

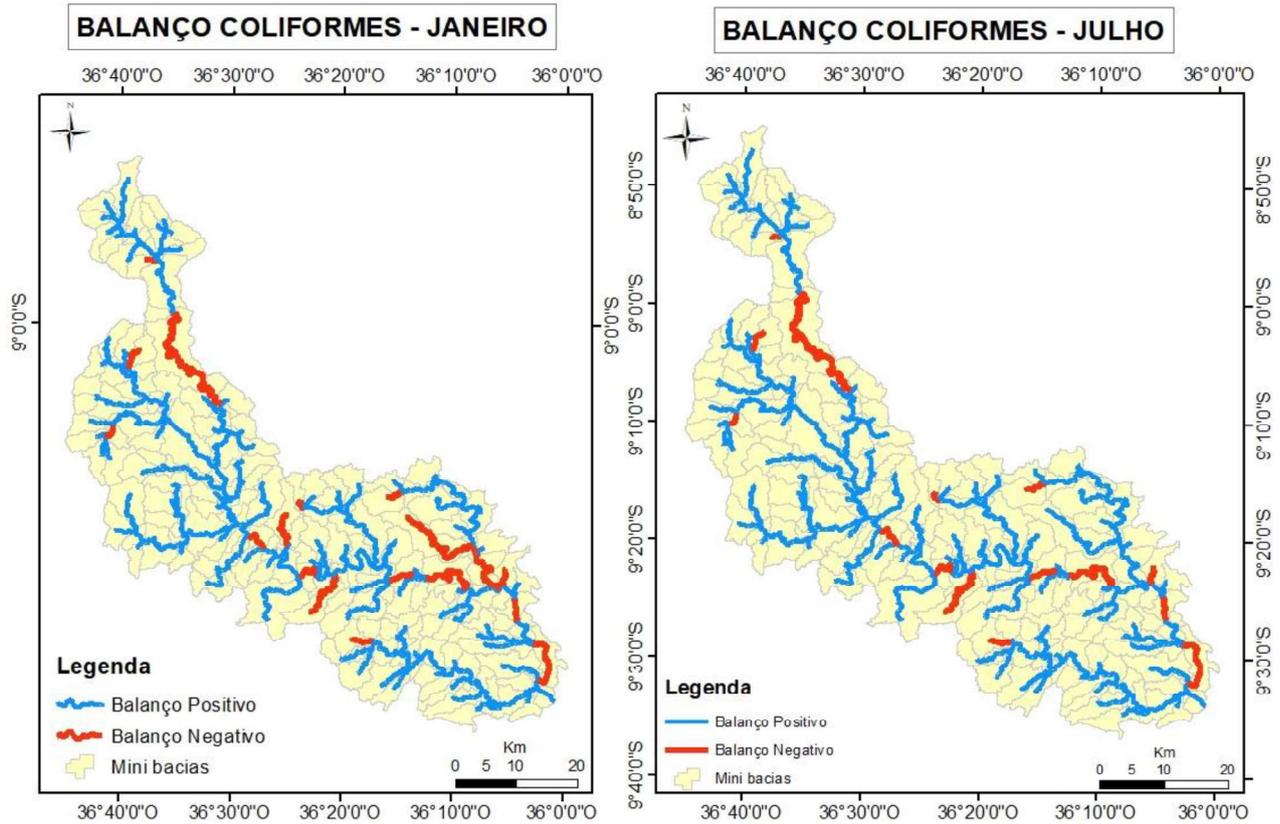
analisados. Os trechos apresentaram, em sua maioria, balanço negativo em todos os meses do ano, com poucas exceções, onde os meses de estiagem foram os períodos críticos no balanço. Para elaborar os mapas ilustrativos, foram escolhidos os meses de janeiro e julho, representando a época de estiagem de e cheia, respectivamente. Os trechos e meses cujos balanços deram negativos podem ser vistos no Apêndice I.

Figura 20 - Apropriação em relação a DBO



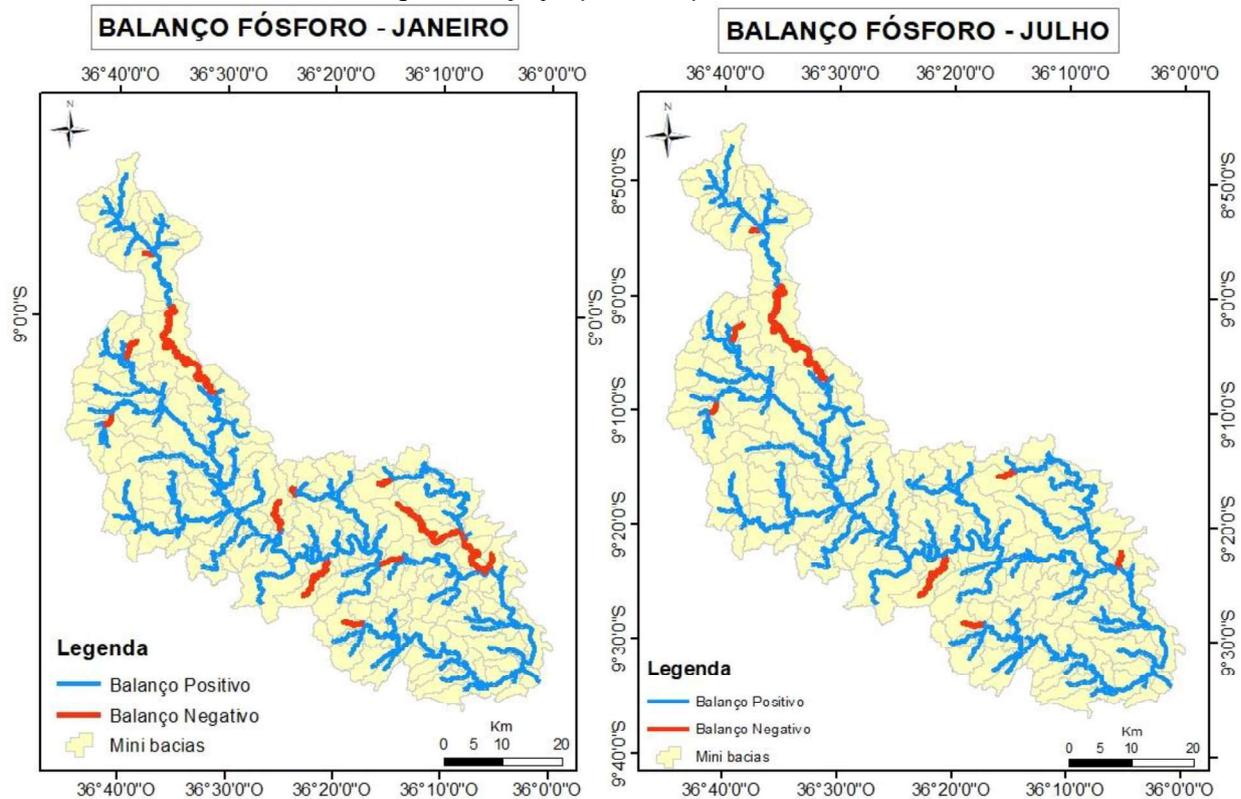
Fonte: Autora (2020)

Figura 21 - Apropriação em relação aos coliformes



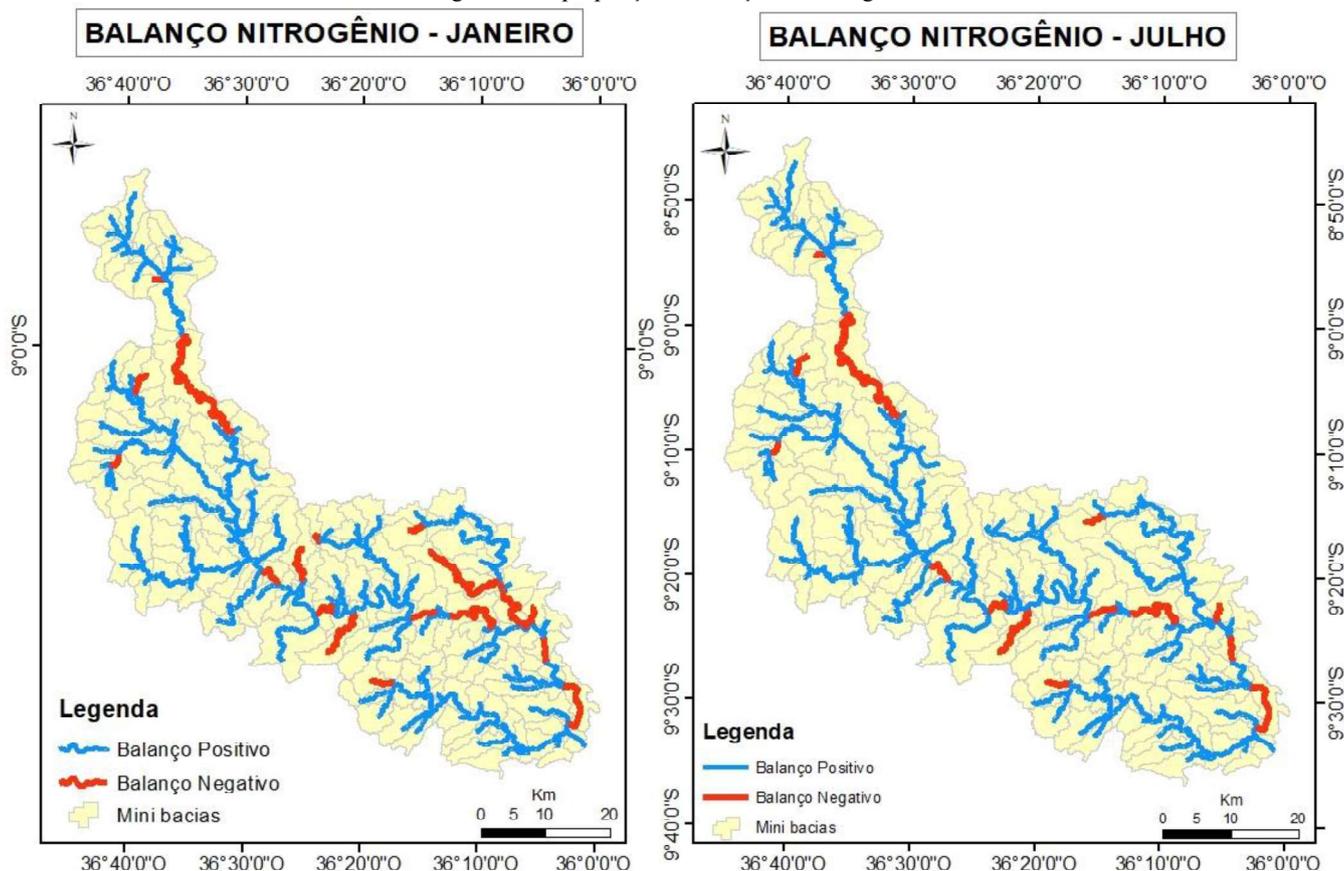
Fonte: Autora (2020).

Figura 22 - Apropriação em relação ao Fósforo



Fonte: Autora (2020).

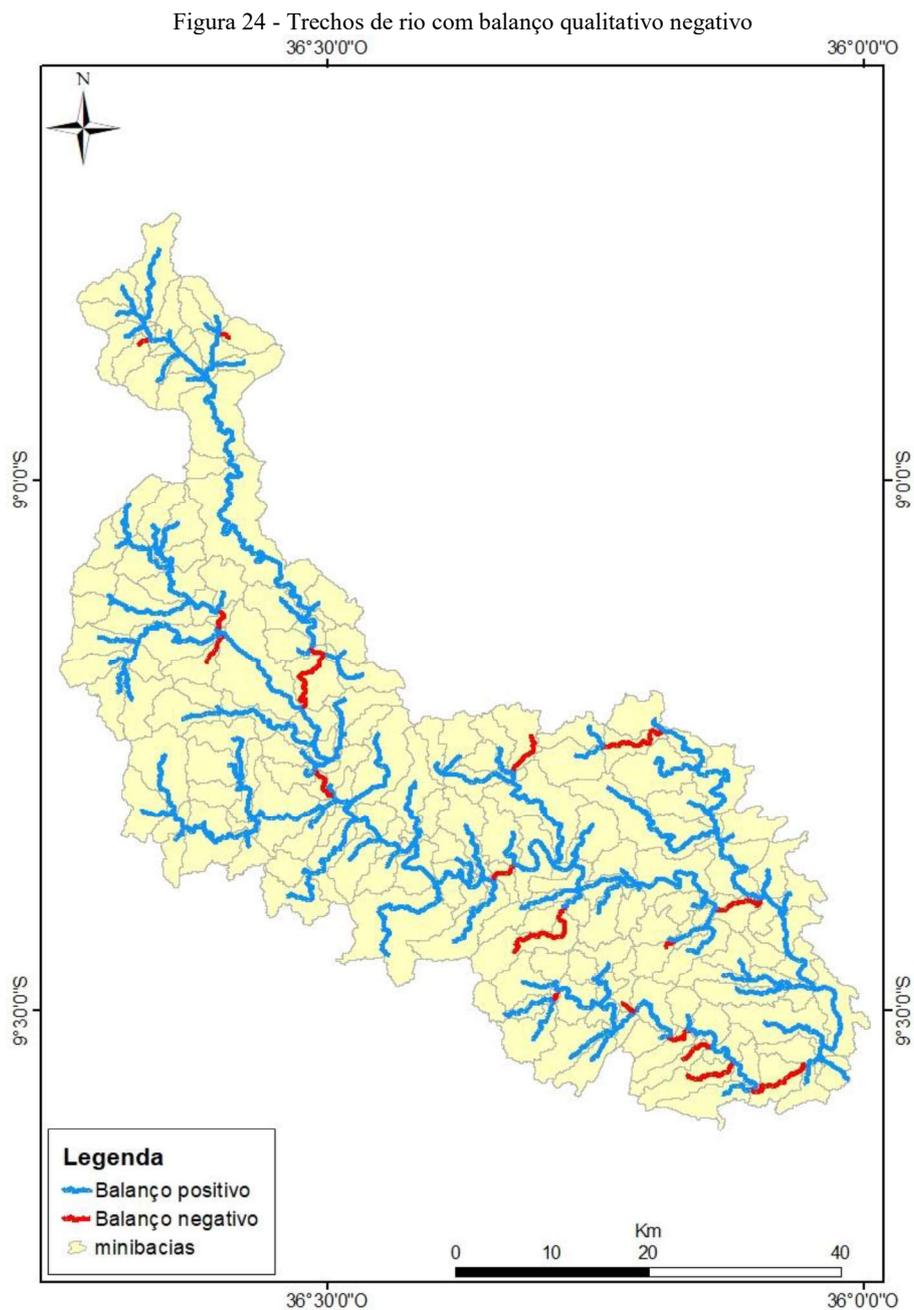
Figura 23 - Apropriação em relação ao Nitrogênio



Fonte: Autora (2020)

Os trechos em questão não suportam a carga de efluentes recebida pelos municípios, utilizando uma quantidade de água maior que a disponível apenas para diluir os contaminantes presentes nos lançamentos. Diante deste cenário, novas outorgas de lançamento de efluentes comprometeriam ainda mais a qualidade da água, bem como a vazão disponível para usuários a jusante, visto que essa vazão apropriada para a diluição do efluente fica indisponível, sendo necessário prévio tratamento para uso da mesma.

Os trechos que apresentaram em ao menos um mês a quantidade de água apropriada superior a vazão disponível, para os parâmetros DBO, Coliformes, Fósforo e Nitrogênio estão representados na Figura 24.

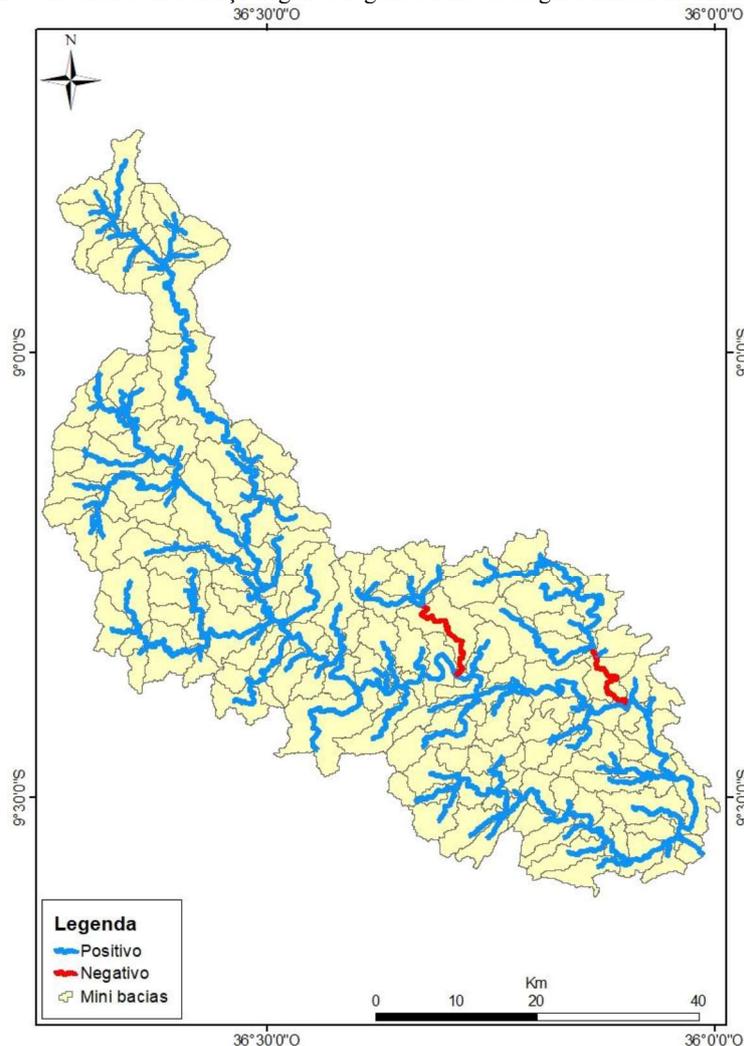


Fonte: Autora (2019).

5.3. Balanço hídrico SEMARH-AL

Aqui está representado o resultado do saldo remanescente do balanço hídrico, calculado através da metodologia utilizada atualmente pela SEMARH-AL nos corpos d'água de domínio estadual. A grande maioria das mini bacias apresentaram saldo positivo em todos os meses, com exceção das mini bacias 142, 153 e 157, que obtiveram saldo negativo no período de estiagem, conforme demonstrado no Apêndice III. **Fonte de referência não encontrada..** Os trechos estão também representados no mapa da Figura 25.

Figura 25 - Trechos com balanço negativo segundo a metodologia utilizada na SEMARH-AL



Fonte: Autora (2019).

5.4. Simulação SGAD

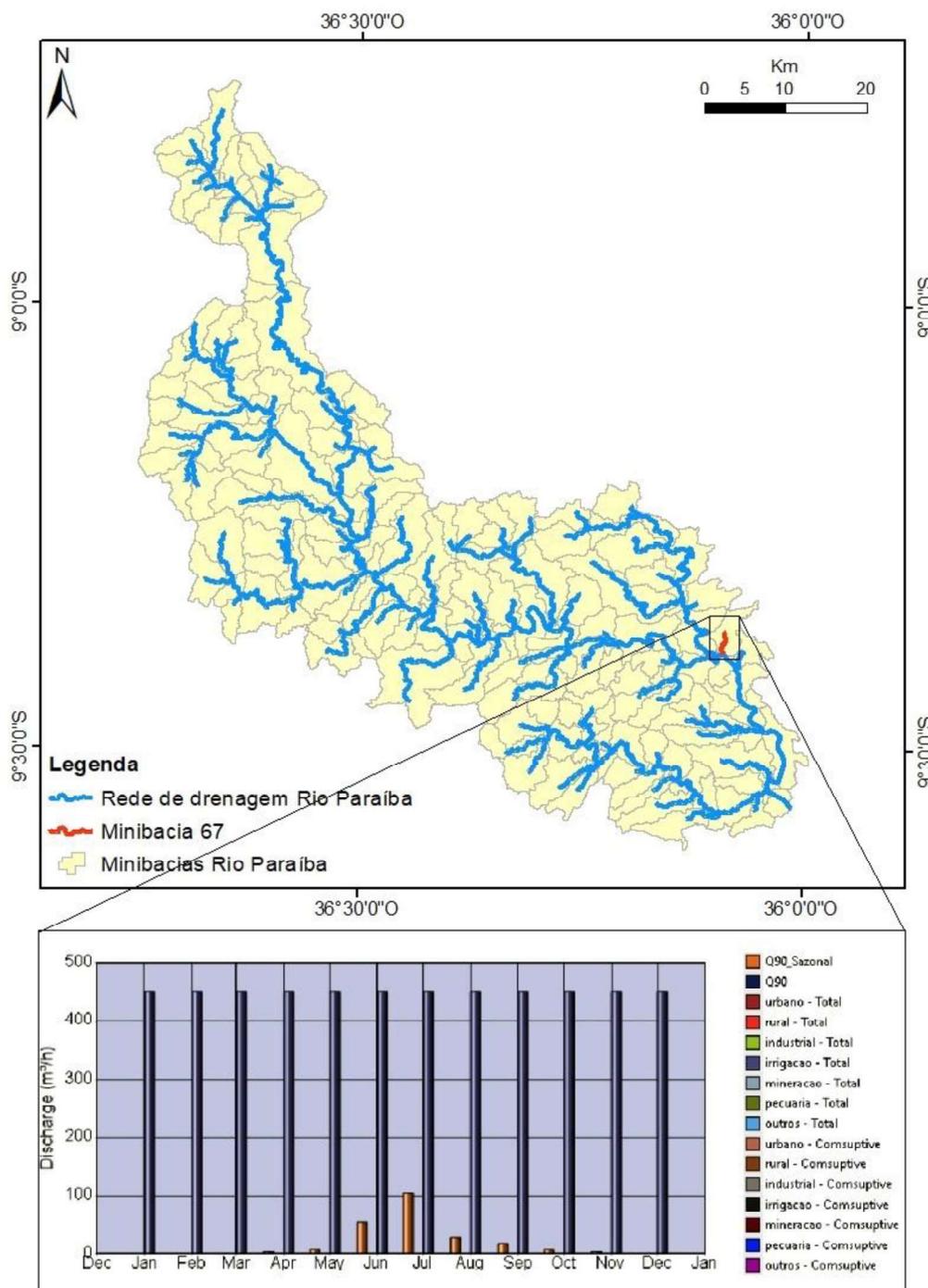
5.4.1. Balanço hídrico

Para a simulação do balanço hídrico superficial sazonal no SGAD, foram utilizados os parâmetros previamente obtidos no processamento do MGB, tais quais: área de drenagem, área a montante, comprimento de drenagem, mini bacia de jusante, ordem do rio e Q_{90} mensal. O fator de consumo foi estabelecido conforme a Tabela 6.

Os resultados dados em forma de gráfico permitem ver, em cada um dos trechos do rio, em quais meses o somatório dos usos totais e consuntivos ultrapassa a vazão estimada para aquele mês, resultando em um balanço hídrico negativo. Como exemplo, foram escolhidos os resultados obtidos em forma de gráfico para a minibacia 67, onde o balanço hídrico se apresenta negativo em todos os meses devido à atividade de irrigação.

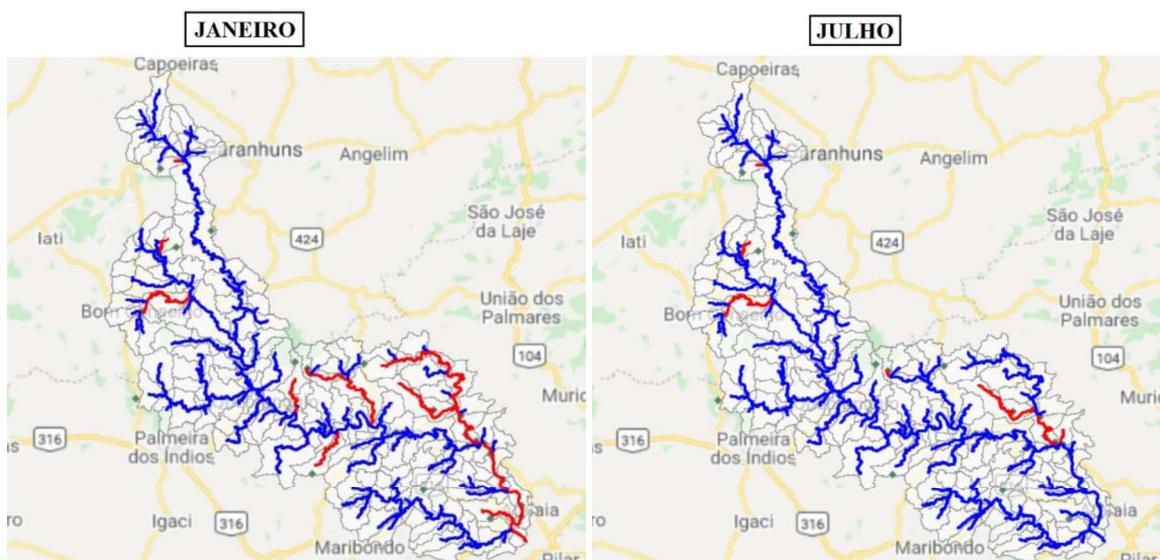
Além dos gráficos informativos, o modelo demonstra ainda situações de estresse hídrico, expresso em porcentagem, para cada trecho ao longo do curso d'água, onde os trechos em vermelho representam situações extremas de balanço hídrico negativo. Na Figura 27 são apresentados resultados sazonais de estresse hídrico para os meses de janeiro e julho em cada trecho da bacia hidrográfica. No Apêndice IV os resultados são apresentados para todos os meses do ano, mostrando que os meses mais secos (novembro a maio) possuem maior comprometimento hídrico que os meses chuvosos.

Figura 26 - Simulação SGAD em gráfico



Fonte: Autora, 2019.

Figura 27 - Estresse hídrico: meses de janeiro e julho.



Fonte: Autora (2019).

6. CONCLUSÕES

A outorga mostra-se um importante instrumento de gestão para os recursos hídricos, pois permite o atendimento das demandas, evita conflitos entre os usuários e garante a sustentabilidade ambiental. Porém as dificuldades metodológicas limitam os processos de análise, dificultando a tomada de decisão pelo órgão gestor.

Diversas metodologias são utilizadas para emissão de outorga, tanto em relação a captação de água quanto em relação ao lançamento de efluentes em corpos d'água. Diante disto, este trabalho buscou comparar métodos para facilitar a tomada de decisão de forma integrada. As metodologias foram aplicadas na bacia do Rio Paraíba, localizada nos Estados de Pernambuco e Alagoas.

No que se refere ao quesito quantitativo, os métodos apresentaram resultados semelhantes, com balanço hídrico negativo em alguns trechos, e em sua maioria no período seco.

Destaca-se o resultado obtido com a aplicação da metodologia utilizada atualmente pela SEMARH-AL, que dentre as 203 mini bacias, apenas 3 apresentaram balanço hídrico negativo nos meses de estiagem.

Apesar de resultados não tão distintos em números, o modelo SGAD se destaca por apresentar saídas mais completas, com gráficos ilustrativos e comparativos entre vazão disponível e demandas separadas por tipo de uso, além de expressar em

porcentagem o comprometimento de cada trecho de rio, facilitando a visualização da situação atual.

Os resultados para todos os métodos apontam trechos em que a demanda hídrica é maior que a oferta, considerando usuários do próprio trecho e usuários a montante, o que impede a inserção novos usuários sem que haja conflito e uma possível realocação da água.

Quando adicionados os parâmetros qualitativos, o número de trechos comprometidos aumenta consideravelmente, pois além da vazão de captação, leva-se em conta a quantidade de água “apropriada” por cada usuário para diluir determinado poluente, deixando essa vazão também indisponível para usuários a jusante.

As equações propostas por Kelman (1997) resultam em um balanço hídrico para cada parâmetro, sendo eles DBO, Fósforo Total, Nitrogênio Total e Coliformes. Os balanços para os 4 parâmetros deram negativos em todos os trechos onde estavam inseridos os usuários, em quase todos os meses do ano, com exceção do parâmetro Fósforo Total, que apresentou balanço positivo em 3 trechos durante os 12 meses.

É importante observar que além da análise espacial, Kelman (1997) faz ainda uma análise temporal, onde um mesmo trecho apresenta diferentes vazões disponíveis para diluição de cada parâmetro.

Quando feita uma análise pontual em um mês de cheia, por exemplo, a vazão de referência pode ser suficiente para diluir o efluente e então ser concedida a outorga. Porém como visto nos resultados de Kelman (1997), o mesmo trecho pode apresentar condições diferentes em períodos distintos. Se a mesma análise for realizada em um mês de estiagem, o resultado talvez não seja o mesmo. Percebe-se então a importância de uma análise temporal e espacial integrada para verificação da situação real da bacia.

Diante dos resultados obtidos através da equação de Kelman (1997), fica clara a importância de fazer a análise do comprometimento hídrico de modo a considerar os aspectos quantitativos e qualitativos antes de emitir a outorga a um novo usuário.

Percebe-se também que a utilização de modelos hidrológicos acoplados a SIGs engloba análises pontuais, espaciais e temporais, exigem informações de entrada mais completas, e as saídas tendem representar melhor a situação real do corpo d'água, de modo a facilitar a tomada de decisão, mediante a visualização da situação de disponibilidade hídrica em cada trecho.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas (ANA) - MANUAL DE PROCEDIMENTOS TÉCNICOS E ADMINISTRATIVOS DE NACIONAL DE ÁGUAS. v. 2013, 2014.

Agência Nacional de Águas (ANA) - RESOLUÇÃO Nº 219, DE 6 DE JUNHO DE 2005 - Diretrizes para análise e emissão de outorga de direito de uso de recursos hídricos para fins de lançamento de efluentes.

Agência Nacional de Águas (Brasil). Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil/Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2019.

BARROS, Altair Maciel De et al. BALANÇO HÍDRICO QUANTITATIVO SIMPLIFICADO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAMARAGIBE - ALAGOAS. p. 1–10, 2017.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual prático de análise de água / Fundação Nacional de Saúde – 4. ed. – Brasília : Funasa, 2013.

CEC - COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. Aplicação da Diretiva 91/271/CEE do Conselho, de 21 de Maio de 1991, relativa ao tratamento de águas residuárias urbanas, alterada pela Diretiva 98/15/CEE da Comissão, de 27 de Fevereiro de 1998. Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais da Comunidade Européia, 2002a - 50 p.

CIVIL, Casa; MENDES, Chico; BELCHIOR, Miriam. Presidência da República. p. 1–5, 2018.

COLLISCHONN, B., LOPES, A. V. Sistema de controle de balanço hídrico para apoio à outorga na bacia do São Francisco. In: ENCONTRO NACIONAL DE HIDROINFORMÁTICA, 1, Universidade de Fortaleza, UNIFOR, Ceará. 16-19 mar/2008.

Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) - RESOLUÇÃO No 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) - RESOLUÇÃO Nº. 16, DE 8 DE MAIO DE 2001 - Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos.

DJAMALUDDIN, Ibrahim et al. Development of Water Management Modeling by using GIS in Chirchik River Basin, Uzbekistan. **Procedia Earth and Planetary Science**, v. 6, p. 169–176, 2013.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OF UNITED STATES. Federal Water Pollution Control Act or Clean Water Act (CWA) [As Amended Through P.L. 107–303, November 27, 2002]. United States, 2002.

_____. Water Permitting 101. Office of Wastewater Management. Disponível em: <<http://www.epa.gov/npdes/pubs/101pape.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2006.

_____. Water Quality-Based Effluent Limits. In: _____. NPDES Permit Writers' Manual. United States, 1996. p. 87 – 114.

FAN, Fernando Mainardi. Simulação dos impactos de lançamentos de poluentes sobre a qualidade da água de bacias hidrográficas integrada com sistema de informação geográfica. **Dissertação (Mestrado)**, p. 241, 2013.

GAMA, Walber Mendes. Impactos das mudanças climáticas na resposta hidrológica da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio (AL/PE). **Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento)** – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia, Maceió, 2011.

GARCIA, Joaquim Ignacio Bonnacarrere. Sistema de suporte à decisão para o lançamento de efluentes. **Tese (Doutorado)**, p. 162, 2011.

JAYARATHNA, Lasinidu et al. A GIS based spatial decision support system for analysing residential water demand: A case study in Australia. **Sustainable Cities and Society**, v. 32, p. 67–77, 2017.

KAYSER, Rafael Henrique B; COLLISCHONN, Walter. Para Gerenciamento De Recursos Hídricos a Um Sig De Código Aberto Integrating Generic Decision Suport System for Management Water Resources To Open Source Gis. p. 1–8, [s.d.].

KELMAN, J. (1997). Gerenciamento de recursos hídricos: parte I: outorga. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH. Vitória, 1997.

KOUWEN, N., PIETRONIRO, A. e HARRINGTON, R. A. 1993. Grouping Response Units dor Distributed Hydrologic Modelling. 119(3), s.l. : ASCE, 1993, **J. of Water Resources Management and Planning**, pp. 289-305.

MCKINNEY, Daene C.; CAI, Ximing. Linking GIS and water resources management models: An object-oriented method. **Environmental Modelling and Software**, v. 17, n. 5, p. 413–425, 2002.

MELO, Marília Carvalho de. Avaliação E Proposição De Critérios De Outorga Para Lançamento De Efluentes Em Corpos D'Água. **Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais**, 2006.

MOREIRA, I.A. Modelagem Hidrológica Chuva-Vazão Com Dados De Radar E Pluviômetros. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidrológica)**. Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Curitiba, 2005.

NAHOM, Iuri Machado. Sistema de apoio à análise de outorga de lançamento de efluentes para a variável demanda bioquímica de oxigênio: estudo de caso da bacia do Alto Iguaçu. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental)** – Universidade Federal do Paraná. Setor Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Curitiba, 2006.

NASCIMENTO, Fernando Antônio de Barros. Uso do gerenciamento de recursos hídricos para análise da segurança hídrica na bacia do rio mundaú (AL/PE). **Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento)** – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Maceió, 2016.

PDRH – Plano Diretor da Região Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio. v 1, cap 1 p. 18-23. 2001.

PESSOA, MARGARITA; KAYSER, Rafael; COLLISCHONN, Walter. Integração do Modelo Hidrológico para Grandes Bacias MGB IPH e Sistemas de Informação Geográfica para suporte à decisão de outorga de direito de uso da água. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 9, n. 2, p. 21–33, 2012.

RESOLUÇÃO Nº. 16, DE 8 DE MAIO DE 2001 - Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos. n. D, 2001.

RODRIGUES, Mikael Timóteo. Acoplamento do modelo hidrológico MGB ao modelo atmosférico WRF visando estimar vazão na bacia do Rio Paraíba do Meio – AL/PE. Dissertação (mestrado em Meteorologia: Processos de superfícies terrestres). 98 f. Maceió, 2012.

SILVA, Maytê Maria Abreu Pires de Melo; FARIA, Sérgio Donizete; MOURA, Priscilla Macedo. Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba (MG). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 133–143, 2017.

SILVEIRA, G. L.; Tucci, C. E. M.; Silveira, A. L. L. Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.3, n.3, p.111-131, 1998.

SNIS – Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de água e esgoto, 2017.

TUCCI, C. E.M. 1998. Modelos Hidrológicos. 1. s.l. : UFRGS, 1998. p. 669.

VON SPERLING, M. Impacto do lançamento de efluentes nos corpos receptores. In: _____. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. p.93-140.

APÊNDICES

Apêndice I – Balanço quantitativo pelo método de Kelman

Balanço Hídrico												
Mini	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
46	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
50	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Negativo
52	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
67	Negativo											
71	Negativo	Negativo	Negativo	Positivo	Negativo							
153	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo
157	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo

Apêndice III – Balanço hídrico SEMARH (saldo remanescente)

	Saldo											
Mini	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
142	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Positivo	Negativo						
153	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo
157	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Apêndice IV – Índice de comprometimento hídrico (SGAD)

